

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Technologie vlečného omílání a její vliv na vybrané vlastnosti integrity povrchu VBD

Drag finishing Technology and Its Impact on the Selected Properties of the Insert Surface Integrity

Student:

Olga Smrčková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Olga Smrčková**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Technologie vlečného omílání a její vliv na vybrané vlastnosti integrity povrchu VBD**
Drag finishing Technology and Its Impact on the Selected Properties of the Insert Surface Integrity
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Geometrie břitu a integrity povrchu nástroje.
3. Technologie úpravy povrchu VBD.
4. Zpracování výsledků a vyhodnocení dat.
5. Závěr a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:


BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
CORTÉS RODRÍGUEZ, C. J. *Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing*. Kassel: Kassel university press GmbH, 2009, 189 s. ISBN 978-3-89958-712-8.
WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performance*. Gainesville, Florida : Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. ISBN 0-8155-1355-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

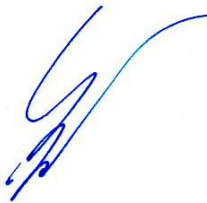
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala včetně příloh samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použila interní údaje o technologii povrchové úpravy vyměnitelných břitových destiček získaných od firmy DormerPramet, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě: 9. 5. 2018

.....Smrčková'.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědoma, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahují zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 9. 5. 2018

.....
Smrčková

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Olga Smrčková

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bludovská 14, Šumperk

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SMRČKOVÁ, O. Technologie vlečného omílání a její vliv na vybrané vlastnosti integrity povrchu VBD: bakalářská práce: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 59 s. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Předmětem bakalářské práce je vliv technologie vlečného omílání na vybrané vlastnosti integrity povrchu VBD povlakované PVD povlakem. V teoretické části je analyzována geometrie břitu řezného nástroje z hlediska mikrogeometrie a makrogeometrie. Následně je definována integrita povrchu spolu s analýzou vybraných vlastností integrity povrchu břitu řezného nástroje. Práce se zabývá povrchovou úpravou vlečného omílání, jež je popsána s dalšími vybranými povrchovými úpravami podobného charakteru. V experimentální části je zahrnuto měření plošné drsnosti břitu, zhodnocení řezné zkoušky z pohledu trvanlivosti a vizuální vyhodnocení mikrogeometrie povrchu břitu. Výsledky těchto zkoušek jsou vyhodnoceny samostatně a ve vzájemné závislosti na sobě. Dále je navrhnout další doporučený postup zkoušení.

Klíčová slova: vlečné omílání, geometrie břitu, integrita povrchu, povrchové úpravy

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SMRČKOVÁ, O. Drag finishing Technology and Its Impact on the Selected Properties of the Insert Surface Integrity: Bachelor Thesis: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2018, 59 p. Thesis Head: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

The subject of the bachelor thesis is drag finishing technology and its impact on the selected properties of the insert surface integrity coated with PVD coat. In the theoretical part, the geometry of cutting edge is analyzed, in terms of microgeometry and macrogeometry. Subsequently, the integrity of the surface is defined together with the analysis selected properties of integrity of the cutting edge surface. The thesis deals with surface treatment of drag finishing, which is described with other surface treatments of a similar character. The experimental part includes areal roughness measurement on cutting edge surface, evaluation of the cutting test in terms of durability and visual evaluation microgeometry of the cutting edge. The results of these tests are evaluated separately and in interdependence. Further is recommended next testing procedure.

Keywords: drag finishing, geometry of the cutting edge, surface integrity, surface treatments

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A ZKRATEK	7
ÚVOD.....	9
1 GEOMETRIE BŘITU A INTEGRITA POVRCHU NÁSTROJE.....	11
1.1 MAKROGEOMETRIE BŘITU ŘEZNÉHO NÁSTROJE.....	11
1.1.1 Vlivy nástrojových úhlů na trvanlivost nástroje	12
1.2 MIKROGEOMETRIE ŘEZNÉHO NÁSTROJE	13
1.3 INTEGRITA POVRCHU ŘEZNÉHO NÁSTROJE.....	15
1.3.1 Drsnost břitu řezného nástroje	16
1.3.2 Přílnavost povlaku k řeznému nástroji	17
1.3.3 Kluzné vlastnosti břitu	19
1.3.4 Struktura materiálů – typy WC-Co prášků.....	20
1.3.5 Zbytková napětí v povlaku řezného nástroje	21
1.3.6 Proces povlakování řezných nástrojů.....	22
2 TECHNOLOGIE ÚPRAVY POVRCHU VBD	24
2.1 VLEČNÉ OMÍLÁNÍ	27
2.1.1 Druhy zařízení.....	29
2.1.2 Používaná média	30
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	34
3.1 PROCES VLEČNÉHO OMÍLÁNÍ	35
3.2 ŘEZNÁ ZKOUŠKA – ZKOUŠKA TRVANLIVOSTI	36
3.2.1 Digitální mikroskop VHX 6000.....	38
3.3 VYHODNOCENÍ ŘEZNÉ ZKOUŠKY	39
3.4 MĚŘENÍ PLOŠNÉ DRSNOSTI BŘITU.....	43
3.4.1 Optický mikroskop Alicona G5	43
3.4.2 Vyhodnocení plošné drsnosti povrchu břitů	44
3.5 HODNOCENÍ MIKROGEOMETRIE BŘITŮ VBD	46
3.5.1 Elektronový mikroskop	46
3.5.2 Vyhodnocení mikrogeometrie.....	48
4 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ.....	50
5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
SEZNAM OBRÁZKŮ	57
SEZNAM TABULEK.....	58
SEZNAM GRAFŮ	58
SEZNAM PŘÍLOH.....	59

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A ZKRATEK

Značení	Jednotka	Význam
A_{α}	[-]	plocha hřbetu
A_{γ}	[-]	plocha čela
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition (povlakování na chemickém principu)
L	[mm]	délka záběru
LED	[-]	Light Emitting Diode (světelné diody)
P_f	[-]	nástrojová rovina boční
P_n	[-]	nástrojová rovina normálová
P_o	[-]	nástrojová rovina ortogonální
P_r	[-]	nástrojová rovina základní
P_s	[-]	nástrojová rovina hlavního ostří
P_s'	[-]	nástrojová rovina vedlejšího ostří
PVD	[-]	Physical vapor deposition (povlakování na fyzikálním principu)
R_a	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu
R_p	[μm]	největší výška výstupku profilu
R_v	[μm]	největší hloubka prohlubně profilu
R_z	[μm]	největší výška profilu
S	[-]	hlavní ostří
S'	[-]	vedlejší ostří
S_a	[μm]	průměrná aritmetická úchylka plochy
SK	[-]	slinutý karbid
VBD	[-]	vyměnitelné břitové destičky

a_e	[mm]	šířka záběru
a_p	[mm]	hloubka řezu
$a_{p \max}$	[mm]	maximální hloubka řezu
d	[mm]	průměr vepsané kružnice vzorku
f_{zub}	[mm]	posuv na zub
l	[mm]	délka vzorku
m	[mm]	vzdálenost výšky čtvercového vzorku od vepsané kružnice k ostrému rohu
s	[mm]	tloušťka vzorku
v_c	[m·min ⁻¹]	řezná rychlost
α_f	[°]	nástrojový boční úhel hřbetu
α_n	[°]	nástrojový normálový úhel hřbetu
α_o	[°]	nástrojový ortogonální úhel hřbetu
α_p	[°]	nástrojový zadní úhel hřbetu
β_f	[°]	nástrojový boční úhel břitu
β_n	[°]	nástrojový normálový úhel břitu
β_o	[°]	nástrojový ortogonální úhel břitu
β_p	[°]	nástrojový zadní úhel břitu
γ_f	[°]	nástrojový boční úhel čela
γ_n	[°]	nástrojový normálový úhel čela
γ_o	[°]	nástrojový ortogonální úhel čela
γ_p	[°]	nástrojový zadní úhel čela
ε_r	[°]	nástrojový úhel špičky
κ	[°]	vstupní úhel naklonění frézy
κ_r	[°]	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
κ_r'	[°]	nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří
λ_s	[°]	nástrojový úhel hlavního sklonu ostří

ÚVOD

V dnešní době jsou při rozvoji ve strojírenském průmyslu kladeny velké požadavky na řezné nástroje, které mají na proces obrábění velký význam. Tyto požadavky jsou kladeny, jak z důvodu snižování strojních časů a nižších nákladů na výrobu, tak i s ohledem na nové materiály obrobků a jejich vlastnosti. Mezi důležité vlivy při procesu obrábění patří vlastnosti integrity povrchu břitu, geometrie obráběcího nástroje, povlak a technologické úpravy povrchu břitu. Tyto vlivy při vhodně navržených parametrech prodlužují trvanlivost řezného nástroje a působí pozitivně na výkonnost v procesu řezání. V poslední době se zaměřuje pozornost na finální povrchové úpravy řezných nástrojů, zejména u VBD, z hlediska jejich využití pro co nejefektivnější obrábění.

Tato práce se zabývá technologií vlečného omílání a jejím vlivem na vybrané vlastnosti integrity povrchu. Studie povrchu byla prováděna na vyměnitelných břitových destičkách ze slinutých karbidů, které jsou povlakovány PVD povlakem. Při procesu nanášení povlaku metodou PVD je způsobena nehomogenita ve vzniklé vrstvě, z důvodu vzniku makročástic na povrchu povlaku. Makročástice zvyšují drsnost povrchu a kvůli tomu působí negativní přebytké tření. Zařízení pro vlečné omílání podle výrobce poskytuje výjimečně hladký povrch a vysoce lesklou finální úpravu povlaku. Cílem práce bylo zjistit jaký důsledek má tento proces na vybrané vlastnosti integrity povrchu povlaku např. odstranění makročástic spolu s doporučením následného testování. Rozsah působení byl zkoumán pomocí měření, a zkoušek na vyměnitelných břitových destičkách.

VBD se vyrábějí z různých materiálů a rozličnými metodami. Například společnost DormerPramet nabízí vyměnitelné břitové destičky vyráběné ze slinutých karbidů, což jsou suroviny vytvořené práškovou metalurgií. Skladba prášků obsahuje prášek z wolframu či jiných tvrdých karbidů. Tyto tvrdší částice prvků, které se mnohdy kombinují, jsou míchány v kobaltové matici nebo v jiném měkkém pojivu. Tyto prášky se nejdříve lisují do požadovaného tvaru VBD. Po lisování následuje slinování, kde jsou dosaženy požadované mechanické a fyzikální vlastnosti. Na proces slinování má velký vliv nejen teplota, ale i čas, druh slinování a prostředí. Následuje broušení, technologická předúprava povrchu, povlakování VBD a finální úprava povrchu po nanesení povlaku.

Téma této bakalářské práce bylo zadáno firmou DormerPramet, která vznikla v roce 2014, kdy se spojily dvě firmy. Tedy firmy DormerTools, která vyráběla monolitní nástroje se společností PrametTools, s.r.o., jenž nabízela nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Sortiment ve firmě se tím značně rozšířil a v současnosti

nabízí rozsáhlý výběr nástrojů pro strojírenský průmysl od monolitních nástrojů až po nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze SK pro vrtání, frézování, soustružení a závitování.

Teoretická část se zabývá geometrií břitu nástroje, a to jak z pohledu makrogeometrie, tak i mikrogeometrie. Následně je popsáno, co je integrita povrchu řezného nástroje spolu s popisem vybraných vlastností integrity povrchu a jejich dopadu na řezný nástroj. Dále je v práci zahrnut popis vybraných metod povlakování a vlastnosti povlaků vzniklých při popsáných metodách nanášení. Součástí práce je dále popis povrchových úprav, které působí na povrch povlakované VBD podobným účinkem jako omílání. Závěr teoretické části této práce je zaměřen na omílání spolu s detailnějším popisem technologie úpravy vlečného omílání. Tato úprava patří mezi novější typ povrchové úpravy, takže práce obsahuje i analýzu médií a zařízení pro vlečné omílání. Jelikož proces vlečného omílání VBD probíhal na zařízení od firmy O.T.E.C. CR, s.r.o., tak byla analýza zařízení a médií pro vlečné omílání zaměřena na produkty o této firmy.

Praktická část zahrnuje popis a vyhodnocení zkoušek na vlastnosti integrity povrchu formou měření a hodnocení plošné drsnosti povrchu břitu řezného nástroje spolu s komplexním hodnocením všech vlastností integrity povrchu s ohledem na trvanlivost. Vzorky s PVD povlakem jsou analyzovány po vlečném omílání. Výjimkou je celkové hodnocení vlastností integrity z hlediska trvanlivosti, kdy je vzorek hodnocen až po řezné zkoušce na snímcích z optického mikroskopu. Po vyhodnocení trvanlivosti je změřena plošná drsnost upravovaných a neupravovaných povrchů VBD, na které navazuje vizuální hodnocení mikrostruktury povrchu břitu na snímcích z elektronového mikroskopu. Stejným způsobem je vše měřeno a hodnoceno po procesu mokrého pískování, a to ze srovnávacích důvodů pro firmu.

1 GEOMETRIE BŘITU A INTEGRITA POVRCHU NÁSTROJE

Geometrie břitu a integrita povrchu mají ve vzájemném působení velmi značný dopad na výslednou kvalitu obrobku a na poškození řezného nástroje. Při správně navrhnuté geometrii nástroje v souvislosti s povrchovými úpravami, které působí na vybrané vlastnosti integrity povrchu, může trvanlivost nástroje dosahovat vyšších hodnot a obrobek žádanější kvality. To vede nejen ke zkrácení strojních časů, ale zároveň i k vyšší hospodárnosti celého obráběcího procesu. U řezných nástrojů se dalším ovlivňujícím činitelem pro efektivní obrábění stává povlak, který je nanášen na řezný nástroj, spolu s jeho povrchovou úpravou a způsobem nanášení.¹

1.1 Makrogeometrie břitu řezného nástroje

Když se řekne makrogeometrie břitu, znamená to jeho rozměry, tvar a profil. Břit se může skládat ze dvou ploch, tedy čela a hřbetu nebo popřípadě ze dvou čelních ploch a hřbetu. Na každém nástroji lze měřit úhel hřbetu, čela a břitu. Úhel hřbetu se nachází mezi plochou, která se obrábí a plochou hřbetu řezného nástroje. Naproti tomu úhel čela je měřen mezi plochou čela a plochou kolmou na obrobek. V poslední řadě úhel břitu je určen úhlem mezi čelní a hřbetní plochou. Správná volba parametrů břitu řezného nástroje je klíčová, aby nedocházelo k otupení ostří, ke snížení kvality povrchu obrobené vrstvy a ke zvýšení řezného odporu. Tyto všechny aspekty ovlivní hospodárnost celého obráběcího procesu, ale celý proces navrhování je složitý. Například, příliš velký úhel břitu zvyšuje jeho pevnost a odolnost, ale naproti tomu břit hůře vniká do obráběného materiálu. Proto je potřebné zvolit všechny úhly v závislosti na tom, pro jaký materiál je řezný nástroj navrhován. Hodnotí se zejména tvrdost a houževnatost obráběného materiálu. Pro volbu řezných úhlů je účelné uvažovat i o vlastnostech nástrojového materiálu spolu s řeznými podmínkami a řezném prostředí, pro jaké je nástroj konstruován. Stejně, tak je vhodné znát, jakou minimální požadovanou drsnost obrobku má tento nástroj při jeho následné funkci vytvářet. Při návrhu řezného nástroje je nepostradatelné znát vlivy jednotlivých úhlů na celý proces obrábění.^{1, 2, 3}

Úhly řezného nástroje jsou měřeny ve dvou souřadnicových soustavách, a to v soustavě nástrojové a pracovní. Pokud se jedná o nástrojové roviny, které se používají zejména při výrobě a konstrukci řezného nástroje, tak tyto roviny jsou určeny směrem hlavního řezného pohybu, vedlejším posuvovým pohybem a všechny protínají uvažovaný bod ostří. V pracovní soustavě je definovaná geometrie v procesu řezání. Úhly měřeny v nástrojových a pracovních rovinách mají index podle roviny, v nichž jsou měřeny. Pracovní roviny jsou

určeny směrem výsledného pohybu, prochází uvažovaným bodem ostří a jsou označovány indexem e. ¹

1.1.1 Vlivy nástrojových úhlů na trvanlivost nástroje

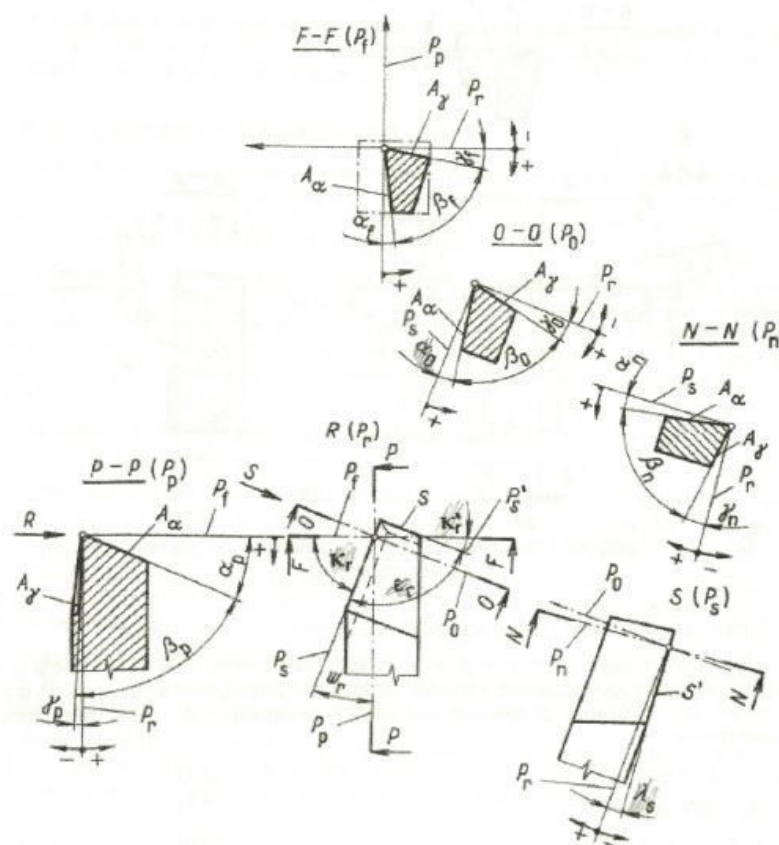
Jak již bylo zmíněno, celkové opotřebení řezného nástroje závisí nejen na zvolených úhlech řezného nástroje, ale také na vlastnostech obráběného materiálu. Nevhodně zvolené úhly v závislosti mezi sebou i ve vzájemném působení s obráběným materiálem mohou způsobit předčasné porušení nástrojového materiálu a způsobit znehodnocení obrobku.

Ovlivňující nástrojové úhly: ^{1,2}

- **úhel nastavení hlavního ostří (κ_r)** – tento úhel je potřeba zvolit v optimálním rozmezí. Některé literatury uvádějí rozmezí 45° až 90°, s poznatkem o prospěšnějším odvodu tepla při zvolení nižších hodnot úhlů v tomto rozmezí. Jelikož při nižších úhlech je délka styku nástroje a obrobku větší způsobuje to menší dopad tepelného zatížení na břit řezného nástroje. To zabraňuje tepelným poškozením, například i plastické deformaci.
- **úhel nastavení vedlejšího ostří (κ'_r)** – příliš nízká hodnota tohoto úhlu vede k nadbytečnému tření nástroje a obrobku. Hodnota tohoto úhlu, ale nesmí být zvolena příliš velká z důvodu nižšího odvodu tepla při obráběcím procesu. Tím je také pozitivně ovlivněna kvalita plochy obrobku.
- **úhel hlavního sklonu ostří (λ_s)** – hlediskem menšího tepelného zatížení nástroje a obrobku se stává úhel sklonu ostří. Značně ovlivňuje odchod třísek z místa řezu. Zejména u obrábění přerušovaným řezem je důležitá zápornost hodnoty tohoto úhlu. Zaleží také především na obráběném materiálu a na požadované kvalitě obrobené plochy. Obvykle je doporučování rozmezí od -6° od +6°.
- **úhel hřbetu (α_o)** – od vlastností obráběného materiálu se také odvíjí volba úhlu hřbetu, kdy může tření ovlivnit poškození břitu řezného nástroje. To se stává zejména při zvolení nízkých hodnot úhlu hřbetu. Na druhou stranu, se zvyšováním hodnoty úhlu hřbetu se zmenšuje úhel břitu. S příliš nízkou hodnotou úhlu břitu je větší náchylnost k jeho vylomení. Většinou je doporučována hodnota pohybující se od 8° až do 12°.
- **úhel čela (γ_o)** – na znehodnocení nástroje má podstatný vliv. Nevhodně zvolený úhel čela vzhledem k obráběnému materiálu, může způsobovat otupování břitu řezného nástroje. Menší úhel čela zapříčiňuje tření čela s třískou. Naopak nástroj

s příliš velkou hodnotou úhlu čela sice lépe vniká do obráběného materiálu, ale kousky bříty se mohou vylamovat. Optimální hodnota se pohybuje od -8° do $+8^\circ$.

- **úhel bříty (β_0)** – tento úhel významně ovlivňuje úhel čela a hřbetu, jelikož s jejich zmenšováním se tento úhel zvětšuje a to může vést k vyššímu tření nástroje s obráběným materiálem. Naproti tomu v nejméně příznivém případě při malé velikosti úhlu může nastat i vylomení bříty nástroje.
- **úhel špičky (ϵ_r)** – nástrojový úhel špičky má dopad na trvanlivost bříty a kvalitu povrchu obrobku, který bude řezný nástroj obrábět. Větší hodnota poloměru zaoblení špičky má pozitivní vliv na celý proces obrábění z důvodu delšího působení nástroje v řezných procesech. Nástroj s větším poloměrem špičky vytváří také nižší hodnoty drsnosti obrobené plochy. Velikost poloměru se volí od 0,2 mm do 5 mm.

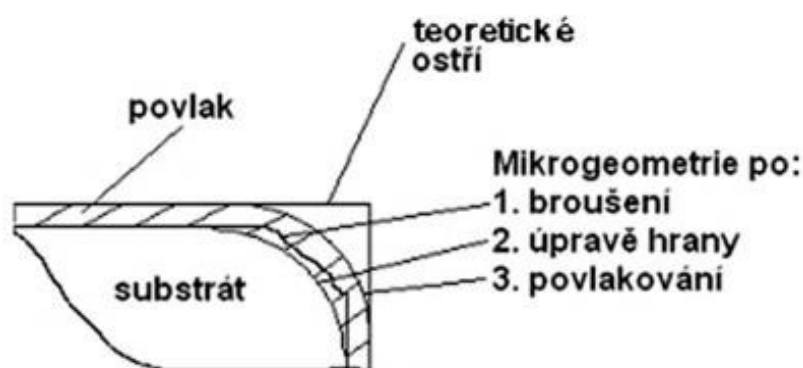


Obrázek 1.1 – Nástrojové úhly¹

1.2 Mikrogeometrie řezného nástroje

V současné strojírenské technologii se klade velký důraz na úpravu mikrogeometrie bříty z hlediska prodloužení trvanlivosti řezného nástroje a zvýšení jeho rezistence proti vysokým teplotám. S tím také dochází ke zlepšení drsnosti obráběného materiálu a k redukci

velikosti řezných sil. Na mikrogeometrii má svým způsobem dopad řezný materiál i povlak. Pod konceptem mikrogeometrie náleží představa o malých částicích velikosti v řádech mikrometrů, nacházející se na břitě řezného nástroje. Jde hlavně o poruchy vzniklé během broušení. Těmto jevům je třeba zabránit použitím vhodných technologických úprav povrchu a následným nanesením povlaku, který při vhodné adhezi kopíruje povrch řezného nástroje. Kdyby substrát po broušení nebyl povrchově upravován, tak při následném nanesení povlaku a jeho přilnutí by povlak okopíroval povrch se všemi nedokonalostmi. To by vedlo ke vzniku nežádoucího tření při obráběcím procesu.^{4, 5}



Obrázek 1.2 – Schéma břitu nástroje⁴

Mezi nejrozšířenější mechanické povrchové úpravy patří omílání, pískování, leštění brusnými kotouči, lapování, leštění kartáčováním a další metody. Vybrané úpravy jsou podrobně rozepsány níže. Principem převážné části metod je vliv abrazivních částic na obrobek, které při vhodném použití zajistí odstranění defektů z břitu řezného nástroje. Při zkoumání břitu řezného nástroje z pohledu mikrogeometrie se stává kromě drsnosti povrchu klíčové zaoblení ostří před nanesením povlaku. Důvodů pro zaoblení břitu je více. S větším poloměrem zaoblení je dosaženo vyšší hospodárnosti, jelikož je břit řezného nástroje méně namáhán řeznými silami. S patřičným zaoblením se také snižuje drsnost povrchu obráběného materiálu a snižuje se sklon k odlupování povlaku z ostří řezného nástroje, jelikož při povlakování nezaoblených ostří dochází k hromadění napětí do těchto ostrých hran. Proces zaoblování probíhá již před technologií povlakování, aby nedocházelo k odstranění povlaku z břitu. Také například způsob nanášení povlaku CVD neumožňuje ostré hrany povlakovat, takže zaoblení před procesem povlakování je nutné i z tohoto důvodu.^{4, 5, 6}

Na PVD povlaku také vznikají tyto makročástice, které jsou často tvořené vyloučeným titanem nebo hliníkem. Jejich působení nemá pozitivní vliv na výsledný řezný proces v důsledku vyšší hodnoty drsnosti povrchu. To způsobuje navyšování řezných sil a vzrůstu mechanického a tepelného namáhání břitu nástroje. Dále makročástice způsobují zpomalení

odvodu třísek. Tyto záporné faktory je možné zmenšit upravením technologie povlakování nebo zejména úpravou povrchu nástrojů po depozici povlaku, které povrch zbaví těchto defektů procesu povlakování PVD. Důležitostí se stává optimální navržení povrchové úpravy, aby její proces nenarušil povlak. Při správném průběhu výroby nástroje s ohledem na mikrogeometrii povrchu, je možné dosáhnout vyšší trvanlivosti řezného nástroje a kvalitnějšího obrobku. ⁴

1.3 Integrita povrchu řezného nástroje

Jedním z posledních trendů se stává snaha o co největší produktivitu, a to navyšováním řezných a posuvových rychlostí. Tyto rychlosti jsou navyšovány v důsledku vyvíjení nových materiálů obrobků, které jsou více odolné vůči těmto rychlostem. V tom důsledku je pozornost zaměřena na nástrojový materiál, jelikož tyto rychlosti mají dopad na trvanlivost řezného nástroje. V posledních letech je dostupná celá řada nástrojových materiálů. Zejména velký rozvoj přišel s použitím slinutých karbidů. Vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů, získávají výhodnější vlastnosti vhodnými povrchovými úpravami a povlakováním. V současné době je zkoumán vliv těchto úprav na vlastnosti integrity povrchu řezného nástroje. Pozornost se zaměřuje také na to, jak vlastnosti integrity povrchu působí na nástroj, zejména na jeho řezivost a opotřebení. ⁷

V průběhu výroby řezného nástroje dochází v povrchových vrstvách ke změnám, které jsou posuzovány jako změny kvality. Pro hodnocení integrity povrchu se tyto změny dávají do vzájemných souvislostí s tím, jak bude břit řezného nástroje využíván. V integritě povrchu je zahrnuto, jak funkční plocha nástroje vzniká. Takže jaký dopad měly všechny metody v technologickém procesu na plochu a dává je do spojitosti k požadovaným funkcím řezného nástroje. Integrita povrchu tedy souvisí s jakostí povrchu a bere v úvahu výsledné funkční vlastnosti břitu. Na integritu povrchu nástroje mají dopad především změny v povrchové vrstvě, které vycházejí z jeho výrobního procesu. Zejména změny vyvolané poslední prováděnou operací, která je většinou dokončovací. Celkově je výsledný povrch součástí velice důležitý a na jeho vlastnosti má velký vliv stav podpovrchových a povrchových vrstev. Proces výroby řezného nástroje je ovlivněn mnoha faktory. Tyto faktory se dělí na vlivy vnější a vnitřní. Vnější vlivy jsou mechanické, chemické, fyzikální nebo jejich kombinace. Naproti tomu vnitřní vlivy zahrnují zbytková napětí, drsnost povrchu, mechanické a materiálové vlastnosti povrchu a přítomnost podpovrchových a povrchových vad. Když jsou tyto jevy popsány souhrnně v závislosti na vzniku funkční

plochy a jeho následné funkci, jedná se o integritu povrchu a ta dává co nejskutečnější poznatky o stavu povrchu.^{7,8}

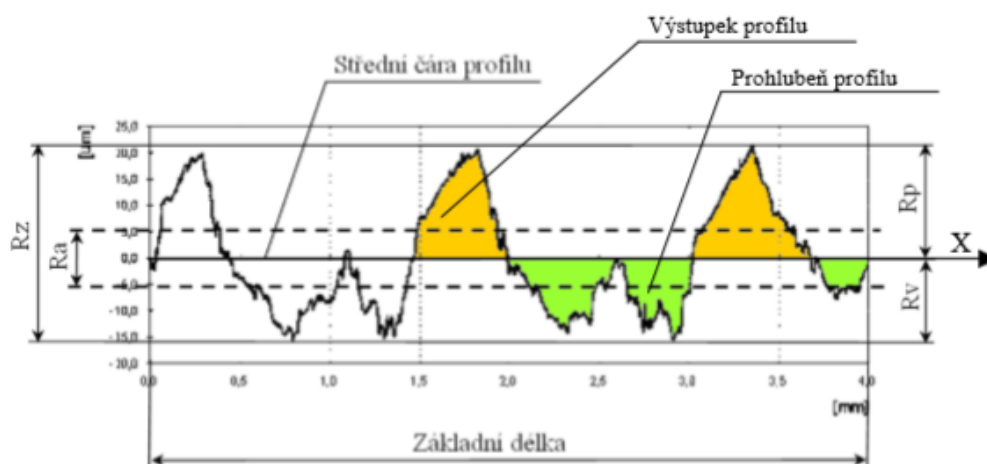
Součástí integrity povrchu může být celá řada parametrů. Podle požadavků funkce se hodnotí vybrané parametry. Funkce povrchu můžou být různorodé, například u většiny nástrojů je klíčová mechanická funkce, tedy snášet mechanické zatížení. Mezi další funkce patří tepelné funkce, což zahrnuje tepelnou vodivost spolu s odolností proti zatížením tepelného typu. V poslední řadě mohou být u nástroje vyžadovány optické a tribologické funkce.⁹

1.3.1 Drsnost bříty řezného nástroje

Drsnost povrchu je jedna z nejdůležitějších vlastností integrity povrchu, jelikož má dopad na celou řadu nepříznivých vlivů, které mohou nastat. Jak již bylo řečeno, důležitá je drsnost povrchu před povlakováním kvůli přilnavosti povlaku k základnímu materiálu. Dále je drsnost důležitou vlastností integrity povrchu, jelikož větší nerovnosti povlak okopíruje a poté už se nedají bez porušení povlaku odstranit. Tyto okopírované nerovnosti by vedly k přebytkovému tření při obráběcím procesu. Stejně tak důležitá je drsnost povrchu po povlakování, protože vlivem vyloučených chemických prvků se při tvorbě povlaků nacházejí na povrchu bříty již zmíněné makročástice. Příliš velká drsnost povrchu má mimo tepelné zatížení nástroje rovněž špatné dopady na otěruvzdornost a na únavovou pevnost součástí. Jelikož při nerovnoměrném povrchu dochází ke zpomalenému odvodu třísek, kontakt třísky s nástrojem je delší a dochází k tepelnému namáhání. To může být negativní při řezání vysokými rychlostmi a při dalších technologických procesech choulostivých na tepelné namáhání.^{4,5}

Když se řekne drsnost povrchu, lze si představit nerovnosti povrchu z procesu jeho výroby. Zejména se jedná o stopy po technologiích, kterými byla plocha zpracovávána. Drsnost povrchu se může hodnotit na základě více parametrů. Jedním z nich je průměrná aritmetická úchylka, jejíž hodnota vychází z nejnižších a z nejvyšších bodů profilu zkoumaného povrchu, konkrétně z jejich průměru. Dále je důležitým parametrem pro charakteristiku drsnosti největší výška profilu. Jde jednoduše o součet nejvyššího výstupku a nejvyšší prohlubně. Posledními z nejpodstatnějších parametrů jsou největší výška výstupku profilu a největší hloubka prohlubně profilu. Povrch je ideální hodnotit na základě měření plošné drsnosti, například pomocí průměrné aritmetické úchylky plochy nebo dalších parametrů pro plošnou drsnost, jelikož hodnota plošné drsnosti přesněji charakterizuje danou plochu.^{5,10}

Pro vyhodnocení drsnosti povrchu se používá mnoho metod. Drsnost povrchu se často porovnává s referenčním materiálem vizuální metodou pomocí elektronového mikroskopu. Tato metoda není nejpřesnější možnou volbou, ale k přibližným porovnávacím účelům je dostačující. Při této metodě lze také usoudit, jestli došlo k odstranění makročásteček z procesu povlakování. Naproti tomu měření pomocí dotykového profilometru je relativně přesnou metodou a funguje na základě posuvného ramena se snímačem, který přejíždí po povrchu kontrolovaného materiálu. Pro měření plošné i profilové drsnosti jsou dostupná bezdotyková optická měřicí zařízení, které zobrazují zkoumaný povrch pomocí světelných paprsků.¹



Obrázek 1.3 – Profil drsnosti¹⁰

1.3.2 Přílnavost povlaku k řeznému nástroji

Přílnavost, která úzce souvisí s drsností povrchu, je dalším ovlivňujícím činitelem funkce a trvanlivosti břitu řezného nástroje. Tato vlastnost může být klíčová pro správné ukotvení povlaku, což je významné pro jeho funkci. Bez správného ukotvení tohoto povlaku, nelze dosáhnout nejvyššího možného využití řezného nástroje s otěruvzdorným povlakem. Mezi povlakem a upravovaným povrchem působí mechanické, chemické a fyzikální síly, které tvoří vazbu. Síla této vazby je závislá na více okolnostech. Mezi ně patří mechanická úprava povrchu, protože každá předúprava povrchu vytváří jiný stupeň drsnosti v závislosti na médiu. Pro co nejvyšší přílnavost povlaku je důležité, aby byl podklad zbaven veškerých nečistot, jako jsou mastnoty, prach, rzi a různé pasty. Dopad na přílnavost má rovněž zvolená technologie povlakování spolu s jejími parametry. Závisí také na materiálu substrátu a povlaku. CVD povlak má například výbornou přílnavost ke slinutým karbidům, a to zejména v důsledku vysokých teplot při nanášení, které jsou při procesu povlakování

nutné. Adheze je rovněž ovlivněna tloušťkou povlaku, tedy kolik vrstev bylo nanášeno. Větší tloušťka působí na přilnavost povlaku negativně.^{5,11}

Podle novějších výzkumů působí na přilnavost časový rozestup mezi povrchovou předúpravou a procesem povlakování. Jak již bylo poznamenáno, přilnavost závisí na technologických změnách, jakým byl povrch vystaven a jak změny ovlivnily drsnost povrchu. Výsledná drsnost substrátu před povlakováním se stává důležitým činitelem pro přilnavost povlaku. Vyšší přilnavost povlaku k substrátu nastává při vyšší hodnotě drsnosti povrchu substrátu. Pokud je přilnavost zkoumána z hlediska fyzikálních vazeb místo mechanického zakotvení výstupků a prohlubní, nastane v souvislosti s materiálem povlaku vhodnější přilnavost i při nižších drsnostech povrchu. Při menších nerovnostech jsou totiž vzdálenosti mezi atomy substrátu a povlaku menší a působí mezi nimi větší přitažlivé síly. To závisí zejména na smáčivosti nanášeného povlaku. Když je smáčivosti povlaku nízká, vyšší drsnost povrchu zhoršuje adhezi. Při velké smáčivosti není výhodné mít příliš nízkou hodnotu drsnosti povrchu. Avšak závisí i na chemické reakci mezi substrátem a povlakem.^{10,11}

Zkouška přilnavosti bývá ověřována například mřížkovou zkouškou, kdy se na zkušební vzorek provede šest navzájem rovnoběžných řezů, které pronikají k substrátu. Stejným způsobem je vytvořeno dalších šest kolmých a protínajících řezů k již vytvořeným řezům. Řezy jsou prováděny v různých vzdálenostech, které určuje tloušťka povlaku. Následuje nalepení speciální lepicí pásky na vzniklou mřížku, která je poté odtržena. Dle prozkoumání odlepeného povlaku na lepicí pásce se vzorek zařadí do klasifikační tabulky, kde je určeno, zda vyhovuje. Pro určení hodnoty přilnavosti se dále používá odtrhoměru, který funguje na principu nalepení tělíska na plochu, která má být testována. Dále je tělísko odtrženo a odtrhoměr hodnotí sílu, která je nutná pro překonání sil, které působí mezi substrátem a povlakem či v povlaku. Přístroj také vyhodnocuje, o jaký se jedná typ lomu, tedy jestli jde o adhezní nebo kohezní lom. O adhezní lom se jedná, pokud jsou porušeny vazby mezi povlakem a podkladem. Naproti tomu kohezní lom jen způsoben, když lom nastal porušením vazeb v povlaku. Porušení vazeb na vzorku, ale může být způsobeno z určité části adhezním i kohezním lomem. Pokud je porušení vazeb způsobeno více druhy tak výsledkem zkoušky je i procentuální hodnota druhu lomů, které zapříčinily porušení vazeb. Takže na rozdíl od mřížkové zkoušky přilnavosti je výsledkem zkoušky přímo číselná hodnota spolu s vyhodnocením příčiny odtržení.¹²

Při hodnocení adhezních sil mezi substrátem a povlakem se aplikuje vrypová zkouška. Tato metoda má více uplatnění, například v měření tvrdosti. Zkouška funguje na principu

zatěžování indentoru, který se pohybuje rovnoběžně s měřenou plochu. Indentor v době svého pohybu působí na rozhraní povlaku a substrátu konstantní nebo postupně se zvyšující silou. Svou silou vytváří vryp v povrchových vrstvách. Když napětí, které vzniká na přechodu mezi povlakem, dosáhne kritických hodnot, odtrhne se vrstva povlaku od povrchu základního materiálu. Míru přilnavosti vyjadřuje síla, kdy došlo k odtržení vrstvy.^{13, 14}

1.3.3 Kluzné vlastnosti bříty

Vyhovující kluzné vlastností jsou dalším důležitým aspektem řezného nástroje pro jeho trvanlivost a většinou jsou poskytnuty různými typy povlaku řezných nástrojů, které snižují třecí koeficienty. Tyto vlastnosti jsou nutné, jelikož během obráběcího procesu s velkými třecími silami dochází k negativnímu tepelnému zatěžování nástroje. Nevýhodné kluzné vlastnosti bříty zejména spolu s vyšší drsností povrchu můžou předčasně tepelně porušit břit řezného nástroje. Vyšší vzniklé teploty mají za následek urychlení chemických reakcí, které rovněž vedou k opotřebení. Tyto vzniklé podmínky nemusí působit na povrchy pouze ohledně jejich postupného opotřebení. Při suchém obrábění mohou tyto podmínky způsobit vytvoření tribologického filmu s novými, příznivými třecími vlastnostmi. Tento film mění i chemické a mechanické vlastnosti povrchu. Nižší třecí koeficient tribofilmu sice vede k delší trvanlivosti řezného nástroje, ale při jeho vzniku je povrch nástroje ovlivněn. Mezi povrchy se vytváří dva typy těchto filmů, tedy transformační tribofilmy a depoziční tribofilmy. Při plastické transformaci, fázové transformaci a při kmitání částic v materiálu vlivem tepla bez přenosu materiálu dochází k vytváření transformačních tribofilmu. Naproti tomu u depozičních tribofilmů zapříčiňuje vznik tohoto tribofilmu přenos materiálu, tedy molekuly přecházející z jedné plochy do druhé. Vznik je rovněž podmíněn také okolním prostředím nebo nečistotami.^{15, 16}

Pro hodnocení kluzných vlastností se využívá metody pin-on-disk (jinak nazýváno ball-on-disk). Zařízení, které využívá této metody, se nazývá tribometr. Výhodou tohoto zařízení je, že zkušební proces není ovlivněn okolním prostředím. Zařízení se skládá z ramena upínajícího kuličku, která je tlačena určenou silou do zkoumaného vzorku. Vzorek s testovaným povlakem bývá upnut do skličidla, kde se otáčí zvolenou rychlostí. Mezi nespornou výhodou toho zařízení patří samostatné zastavení zařízení v případě, že vzorek dosáhne určité hodnoty koeficientu tření nebo po předem nastaveném čase. Výsledkem tohoto testování je průběžná změna koeficientu tření v průběhu testování v závislosti na čase zkoušení. Součástí vyhodnocení je i adhezní a abrazivní opotřebení vtačovaného tělíska a jeho velikost. Ve finále je také sledována velikost a povaha vzniklé stopy na vzorku, která vznikla třením. Toto opotřebení spolu s frikčním koeficientem závisí na celé řadě vlivů.

Zejména na mechanických a fyzikálních vlastnostech materiálu indentoru a zkoušeného tělesa, teplotě zkoušení, síle vtlačování indentoru a dalších důležitých vlivech. Tato metoda neprobíhá za tak vysokých teplot, jako proces obrábění. Síla vtlačování kuličky je také hodně vzdálená velikosti řezných sil. Jedná se tedy o metodu určenou spíše pro porovnávání frikčních vlastností různých vzorků.¹⁶

1.3.4 Struktura materiálů – typy WC-Co prášků

U nástrojů ze slinutých karbidů je více faktorů, které ovlivňují jejich vlastnosti integrity povrchu a tím pádem i celkovou trvanlivost břitu řezného nástroje. SK typu WC-Co jsou tvořeny tvrdými částicemi wolframu, které jsou spojeny kobaltem. Toto složení dává povrchu dobré vlastnosti, přičemž je důležité vzájemné rozložení wolframu a kobaltu. Jelikož karbidy wolframu jsou rozprostřeny uprostřed v pojivu, tak se ovlivňujícím činitelem pro určování vlastností struktury stává volná délka kobaltové fáze. Volné délky kobaltové fáze jsou jednoduše řečeno vzdálenosti pojiva mezi zrna karbidů wolframu. Tuto délku ovlivňuje samozřejmě kromě uspořádání zrn i celkový obsah kobaltu. S vyšším obsahem kobaltu a s vyššími hodnotami volných délek kobaltové fáze je větší sklon k plastickým deformacím, jelikož kobalt je prvkem, který je nositelem houževnatosti. Kobalt ale neovlivňuje nárůst zbytkového napětí uvnitř materiálu, které následně vede ke vzniku mikrotrhlin. Pokud jsou špatně nebo nevhodně navrhnuté parametry při předchozích procesech výroby slinutých karbidů, tak důvodem pro vznik mikrotrhlin se stává zrno wolframu. Jakmile napětí narůstá, houževnatost pojiva klesá. A nižší plastické vlastnosti materiálu vedou k poruchám. Vlastnosti pojiva napomáhají ke snižování zbytkových napětí a z toho důvodu je určující také volná délka kobaltové fáze, na které závisí míra plastických vlastností. Při sníženém obsahu kobaltu je hranice dotyku zrn wolframu větší a tyto hranice se stávají místem vzniku mikrotrhlin. A jelikož tenčí tloušťky kobaltu rychleji ztrácejí plastické vlastnosti vlivem napětí, tak nezastaví růst těchto mikrotrhlin. S tím také souvisí volná délka kobaltové fáze, tedy jak je kobalt v materiálu rozložen. Kdyby rozložení nebylo rovnoměrné, tak části materiálu, kde jsou tyto délky krátké, budou místem šíření mikrotrhlin. Z toho vychází, že vhodný obsah kobaltu a rovnoměrné rozložení karbidu wolframu jsou efektivní způsoby k zastavení růstu defektů. Výrobci se také snaží zvyšovat houževnatost materiálu snižováním velikostí zrna wolframu se zachováním poměru pojiva ke karbidům, což vede k menšímu dotyku zrn wolframu.¹⁷



Obrázek 1.4 – Šíření trhliny¹⁷

1.3.5 Zbytková napětí v povlaku řezného nástroje

Při procesu obrábění nebo při výrobě řezného nástroje dochází v povrchových vrstvách ke změnám, které se stávají zdrojem zbytkového napětí. Často jejich vznik přichází teplem z procesu broušení a plastickými deformacemi při procesech výroby. Tyto nepravidelné plastické deformace vznikají zapříčiněním mechanickým sil. Původcem zbytkových napětí se dále stává nerovnoměrný ohřev a ochlazování z vysoké teploty, které způsobují nerovnoměrné změny ve struktuře. Zbytková napětí jsou napětí, které stále působí ve zpracovávaném materiálu i po odeznění vnějších sil, které na něj působí. A jsou ovlivňována zejména poslední technologickou operací.⁸

Tato zbytková napětí mohou být někdy výhodná a mohou mít pozitivní dopad na VBD. Tahová zbytková napětí působí negativně na povrch nástroje z hlediska přispění svého účinku na vznik trhlin a napětíové koroze. Naproti tomu tlaková napětí působící v povlaku mohou přispět k zastavení šíření trhlin. Ovšem technologie PVD a CVD mají jiný technologický postup a zbytková napětí v povlaku reagují odlišně. Pokud se jedná o povlak CVD, jenž je nanášen za vysokých teplot, tak vlivem teplot při procesu nanášení nastává pokles zbytkových napětí z výrobních procesů. Substrát a povlak reagují odlišně na vysoké teploty povlakování z důvodu nižší teplotní roztažnosti povlaku. To způsobuje při procesu nanášení vznik tahových napětí v povlaku. V povrchových vrstvách substrátu začne naproti tomu působit tlakové napětí vlivem pomalejšího roztahování povlaku. Tlakové napětí v povrchu substrátu působí příznivě, a to zastavením růstu trhlin. Nicméně z důvodu působení těchto odlišných napětí do styčné plochy mezi povlakem a SK může nastat adhezní poškození. PVD povlakování neprobíhá za tak vysokých teplot a ke snižování napětí

nedochází a nastává kohezní poškození, které je zapříčiněno vzrůstajícím tlakovým napětím a následným překročením meze pevnosti.¹⁷

Měření zbytkových napětí probíhá destruktivní, polodestruktivní nebo nedestruktivní metodou. U destruktivních metod je část napjatého materiálu odebrána. Toto odebrání vyvolá deformace, které jsou následně měřeny. Když měřená součást má účelně přidanou část materiálu, na níž probíhá měření, tak se metoda nazývá polodestruktivní. Tento objem materiálu je po provedení měření odebrán. Nedestruktivní metody probíhají bez zasažení do celistvosti součásti pomocí fyzikálních principů.

1.3.6 Proces povlakování řezných nástrojů

Povlaky se v dnešní době stávají nedílnou součástí řezných nástrojů, zejména u VBD. Tyto povlaky přispívají k delší trvanlivosti břitu nástroje. Nanesené vrstvy vynikají vysokou tvrdostí, jelikož oproti houževnatému jádru u SK, povlak neobsahuje pojivo. Každý princip povlakování se svými rozdílnými parametry nanášení tvoří povlak s rozdílnými vlastnostmi integrity povrchu a jiným stupněm odolnosti proti opotřebení. Nicméně záleží také na složení tohoto povlaku a na jeho mechanických vlastnostech. Různé typy povlaků se liší tepelnou roztažností, což může vést ke snížení zbytkových pnutí. Povlaky se také liší svou tvrdostí, která rovněž ovlivňuje trvanlivost břitu. Stejně tak mohou na trvanlivost břitu zapůsobit rozdílné kluzné vlastnosti povlaků nebo rozličná tepelná odolnost, jenž vede při vyšší drsnosti k menšímu tepelnému zatěžování. Díky výhodám povlaku přichází možnost zvyšování řezných rychlostí, což vede k vyšší produktivitě.

Pokud se jedná o povlakování PVD, které probíhá fyzikálním odpařením z pevné fáze, tak výsledný povlak má vrstvy tenké přibližně 2 μm a je prospěšný svými vlastnostmi. Tato nanesená vrstva má dobré kluzné vlastnosti, takže produkuje menší tření. Vzniklá vrstva vyniká také svou tvrdostí a odolností vůči korozi, oteru a vysokým teplotám. U tohoto typu povlakování je proces nanášení těchto vrstev značně složitý, ale oproti nanášení povlaku metodou CVD lze povlakovat i ostré hrany. Nevýhodou povlaku je vznik makročástic na povrchu povlaku. Výhodou tohoto typu povlaku jsou zbytková tlaková napětí působící na povrchu, vlivem nižších teplot při nanášení, které mohou působit kladně na trvanlivost řezného nástroje. V posledních letech dochází k rozvoji PVD povlaků v aplikaci na slinuté karbidy, a to zejména v adhezních vlastnostech. Teploty aplikace se pohybují od 450° do 550°C.^{1, 18}

CVD povlaky vznikají chemickými metodami při velmi vysokých teplotách, které u mnoha materiálu mohou narušit vlastnosti povlakovaného materiálu. U slinutých

karbidů nejen že k tomuto narušení nedochází, ale výsledný povlak k nim má velmi dobrou adhezi. V posledních letech je snaha teploty snižovat kvůli nepříznivým tahovým napětím v povlaku a z důvodu výhodnějšího rozsahu aplikace CVD povlakování na všechny typy řezných materiálů. Výhodou povlakování je vysoká hustota výsledného povlaku. Proces povlakování probíhá pomocí chemických reakcí. Produkty těchto chemických reakcí jsou následně uloženy na povrch bříty.¹

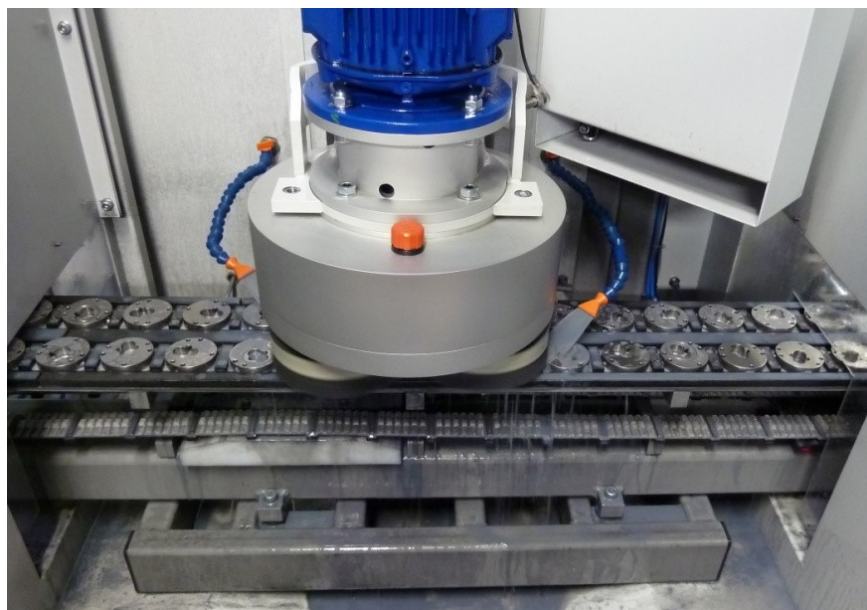
2 TECHNOLOGIE ÚPRAVY POVRCHU VBD

Technologické úpravy povrchu jsou používány pro odstranění defektů na břitě rezného nástroje v největším možném rozsahu. Při výběru vhodné úpravy a jejich parametrů jsou rozhodující požadované vlastnosti integrity povrchu nástroje. Celkově tyto povrchové úpravy mohou působit pozitivně na vlastnosti integrity povrchu nástroje vzhledem k jeho funkci. Například pro navrhnutí povrchové úpravy VBD je určující složení slinutého karbidu, jestli v povrchových vrstvách povlaku působí tahové či tlakové napětí, požadovaná drsnost povrchu a další vlivy. Technologie úpravy povrchu se stále vyvíjejí k rychlejšímu, automatizovanějšímu a lépe řízenému procesu.

Leštění kartáčováním

Jedná se o speciální případ kartáčování, kde jsou používány ploché kartáče s jemnými vlákny pro dosažení povrchu, který je hladký a lesklý. Přírodní nebo polyamidová vlákna těchto kartáčů jsou pokryta pastou, která se skládá z diamantových částic ve velikosti 5 až 8 μm . Povrchová úprava, kterou tento proces umožní je jako u většiny povrchových úprav závislá na velikosti těchto částic a na materiálových vlastnostech vláken kartáče.¹⁹

Na rotačním stole jsou upevněny upravované součásti, na které působí plochý kartáč, jehož pohyb je rovněž otáčivý. Upnuté součásti provádí planetový pohyb s otočným stolem. Ve strojírenském průmyslu bývá používáno zařízení pro leštění kartáčováním více rotačních stolů s obráběnými předměty, jež jsou upravovány jedním rozměrným plochým kartáčem. Leštění kartáčováním tímto způsobem není příliš produktivní metodou oproti jiným povrchovým úpravám, v důsledku menšího počtu obráběných součástí při jednom procesu úpravy. Zároveň strojní časy také prodlužuje delší výměna upravovaných součástí a jejich omývání od brusných past. Leštění kartáčováním je využíváno také v zařízení, kde jsou součásti upnuté na pohybujícím se páse, na který v jednom místě působí otočný plochý kartáč. Sice není dosaženo tak hladkého povrchu, jako u předešlého principu, ale strojní časy se stávají nižší. Výhodou obou typů zařízení je, že nedochází vzájemného poškození opracovávaných předmětů spolu s dosažením velmi hladkého povrchu.



Obrázek 2.1 – Leštění kartáčováním ²⁰

Pískování, mikropískování

Pískování neboli také tryskání či otryskávání využívá abrazivních částic, které vylétají z trysky vysokou rychlostí na povrch opracovávaného předmětu. Kinetická energie těchto částic je způsobena tlakem vody nebo stlačeným vzduchem. U pískování se ovlivňujícím parametrem stává tvar těchto abrazivních částic v důsledku možného zatlačování nežádoucích nečistot do povrchu základního materiálu, ke kterému dochází při kulatém tvaru těchto částic. Naopak v závislosti s nevhodně zvolenými parametry dochází u hranatého tvaru k odtrhávání upravovaného materiálu. Mezi další vlivy patří úhel dopadu částic spolu s jejich zrnitostí a hmotností. Tyto parametry se volí na základě vlastností povrchu zpracovávané součásti. Například podle jeho tvrdosti, houževnatosti a dalších mechanických vlastnostech. V praxi se nejčastěji využívá mokrého a suchého pískování. Touto metodou lze odstranit veškeré nečistoty z povrchu substrátu a při správném zvolení abrazivních částic se může pískováním vytvořit povrch připravený pro povlakování. Následně je možné pískováním odstranit defekty vzniklé určitou technologií povlakování. ²¹

U nástrojů pro obrábění má především mokré pískování pozitivní dopad na snížení zbytkových napětí působících na povrchu substrátu nebo v povlaku z procesu slinování, broušení a dalších procesů výroby. Zejména u typu nanášení povlaku metodou CVD, kde vlivem technologie na povrchu povlaku účinkují tahová napětí, které se často stávají činitelem ovlivňujícím vznik a šíření trhlin. Snížení těchto pnutí je zapříčiněno dopadem abrazivních částic s vysokou kinetickou energií na povrch povlaku, který tuto energii pojme. Dopadem částic je povrch rovněž zpevněn. Mokré pískování nejen snižuje drsnost povlaku,

ale rovněž redukuje z vnějších vrstev substrátu zrna, která jsou nesprávně ukotvena. Výhodou je neprašnost procesu a neusazování zbytků média v defektech v takové míře jako u jiných povrchových úprav. Technologie mikropískování vytváří plochu s podobnými vlastnostmi. Pouze využívá jemnějšího abraziva, které je na povrch vrháno nižší rychlostí, aby byl povrch co nejohleduplnějším způsobem opracován. Mikropískování vytváří v závislosti na době tohoto procesu velmi hladký povrch.

Omílání

Technologii omílání lze vidět ve zjednodušené verzi v přírodě, kdy tekoucí voda s pískem působí na povrch kamenů či kousků střepů. Kameny a střepy mají po čase zaoblené hrany a vyhlazený povrch.²² Omílání tedy funguje na principu vzájemného pohybu povrchu opracovávaného předmětu a omílacích tělísek s případným čisticím prostředkem v bubnu. Omílání VBD může zajistit dokonale připravený povrch pro depozici povlaku, díky optimálnímu stupni drsnosti a zaoblení břitů rezného nástroje. Zaleží ovšem na druhu zařízení. Stejně tak i po depozici povlaku odstraní již zmíněné defekty. Omílání před aplikací PVD povlaku také sníží odlupování povlaku na břitů rezného nástroje.^{6,21}

V dnešní době se využívá ve strojním průmyslu velké množství druhů omílacích zařízení. Každý druh zařízení dovoluje různý počet omílaných těles v jednu chvíli. Při výběru záleží, jestli se mohou opracovávané povrchy vzájemně dotýkat. Velký vliv na jakost povrchu mají vhodně zvolená omílací tělíska. U omílání závisí tedy na brusných tělíscích a na rychlosti rotace bubnu nebo držáku s upnutou součástí. Stroje pro omílání mohou zajistit odjehlení, odhroťování, odmaštění, broušení, zaoblení břitů a vyleštění na vysoké úrovni. Povrchové úpravy se u různých zařízení mohou lišit a nabízet jiný stupeň těchto úprav. Na rozsah povrchových úprav má dopad nejen omílací médium (jeho materiál a tvar), ale také doba samotného procesu spolu se zvoleným druhem omílacího zařízení. Vlečné omílání například zajistí kvalitní vyleštění povrchu, kterého se při použití vibračního kruhového zařízení pro omílání dosahuje velmi těžko. Proces omílání může působit kladně na určité vlastnosti povrchu a tím zvyšovat trvanlivost VBD. Samozřejmostí omílání je odstranění rzí, okují a různých mastnot.²³

Výhodou omílání je množství operací, které provádí při jednom procesu, a to s větším počtem těles. Hlavní výhodou je tedy broušení a leštění současně, což zaručuje metoda Trowapast. Při této metodě se v omílacím zařízení v průběhu procesu nejdříve drsný povrch vyhladí většími částicemi média. Postupně se tyto částice sami o sebe rozmělní a transformují na jemnější leštící prášek, který povrch opracovávané součásti vyleští.²⁴



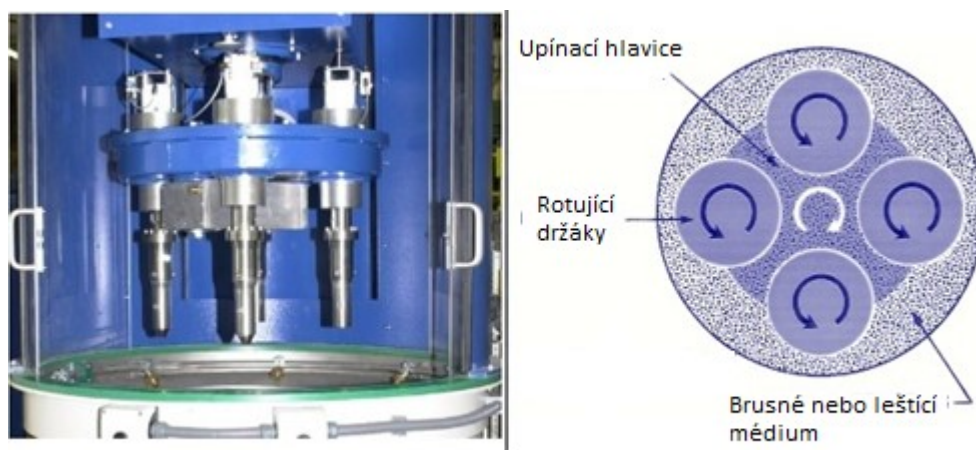
Obrázek 2.2 – Vzorek před omíláním (vlevo) a po omílání ²³

Mezi omílací stroje patří vibrační zařízení s kruhovou nádobou, kde je možné využít vysoké produktivity. Toho je dosaženo díky omílání většího množství předmětů, jelikož zařízení funguje na principu rozvibrování bubnu, kde jsou volně rozprostřeny součásti s médiem. Odstředivá omílací zařízení jsou výrazně rychlejší. Při této operaci jsou odstředivou silou omílací tělíska a součásti přimáčknuta ke kraji vnitřku bubnu. U většiny zařízení tohoto typu, se jedna várka omílá a druhá se separuje od omílacích těles, čímž se stává proces ještě produktivnější a strojní čas se stává kratším. Dále výrobci nabízejí průchozí vibrační omílací zařízení, kde upravované součásti procházejí průchodem s omílacími tělisky, což je vhodné pro souvislou výrobní linku a rychlý provoz. U zmíněných zařízení dochází k vzájemnému dotyku upravovaných předmětů a to nemusí být pro všechny požadované procesy úprav vhodné. Pro větší součásti se používají vibrační žlaby, které jsou výhodné svou pozitivní možností omílat každou součást zvlášť díky oddělovacím přepážkám. To umožňuje i zařízení pro vlečné omílání, které je popsáno níže. Naopak pro omílání malých součástí jsou používány omílací bubny a zvony. ²²

2.1 Vlečné omílání

Při finální vlečné úpravě jsou obrobky upevněny ve speciálních rotačních držácích, které se planetově pohybují vůči upínací hlavici, v nichž jsou upnuté. Obrobky jsou vlečeny vysokou rychlostí kruhovým pohybem nádobou s brusným nebo leštícím médiem. Rychlým pohybem vzniká vysoký přitlačný tlak mezi obrobkem a médiem, čímž se v nejkratším čase docílí optimálního výsledku opracování ve formě přesného zaoblení ostří, vyhlazení nebo vysoce lesklé finální úpravy v kvalitě ručního leštění. ²⁵

Mezi největší výhody vlečného omílání patří tlak a rychlost. Když jsou součásti uchycené v držáku, jsou vlečeny vyšší rychlostí, a to způsobí větší tlak na médium. To má velký dopad na strojní čas spolu s pozitivnější kvalitou povrchu. Jelikož jsou součásti upnuty jednotlivě v držácích, nedochází k jejich vzájemnému dotyku a tím předcházíme případnému vzájemnému poškození. Nevýhodou se stává ztráta času při upínání a nízký počet zároveň omílaných objektů oproti jiným druhům omílání. Technologie je doporučována pro nástroje ze slinutých karbidů, jelikož by podle zmíněných účinků měla pozitivně působit na určité vlastnosti integrity povrchu nástroje.



Obrázek 2.3 – Vlečné omílání ²⁵

Technologii vlečného omílání využívá celá řada zařízení, které umožňují dosáhnout kvalitního opracování součástí. Vlečné omílání například součást odjehlí, takže by hrany neměly být ostré a součást by měla být zbavena otřepů a třísek. Pro řezné nástroje je důležitá možnost zaoblení ostří z důvodu delšího působení nástroje a výhodnější kvality obrobku. Zařízení pro vlečné omílání se využívají k dosažení požadovaného zaoblení ostří s velkou přesností. Povrch je po procesu vyhlazen na velmi dobrý stupeň drsnosti, který je u výroby VBD důležitý nejen před povlakováním, ale i po povlakování. V poslední řadě zaručuje vlečné omílání lesk, který není důležitý jen kvůli vzhledovým vlastnostem. U řezných nástrojů je možné použít větší řezné rychlosti, je-li dokonale vyleštěná drážka pro upnutí nástrojů. Nevýhodou oproti některým jiným technologiím úpravy povrchu se může stát nižší produktivita, prášení média v zařízení pro vlečné omílání a zachytávání média ve zbylých defektech. ²³

2.1.1 Druhy zařízení

Ve strojním průmyslu jsou nabízeny různé zařízení, které mají odlišné parametry a mohou být určeny pro potravinářský a farmaceutický průmysl nebo pro finální úpravu součástí ve strojním průmyslu.

Například pro farmaceutický a potravinářský průmysl společnost O.T.E.C. CR, s.r.o. nabízí ve svém výrobním sortimentu zařízení pro vlečné omílání řadu DF PHARMA, která je vyrobena z ušlechtilé oceli, jejichž povrch je lakován. Toto zařízení nabízí kvalitní upnutí obrobků a jednoduchost výměny obrobků i média. Obsahuje také chladicí systém, který umožňuje leštící médium udržovat při nízké teplotě, což působí pozitivně na celou nejdelší životnost omílacího zařízení. Současně chlazení působí příznivě na kvalitu povrchu, zejména při vysokých rychlostech. Otáčky upínací hlavice nebo rotujících držáků se dají v průběhu procesu řídit a díky vnitřnímu osvětlení lze celý průběh omílání sledovat a optimalizovat. Podle typu vybraného omílacího zařízení lze současně omílat až 60 obrobků. Po nastavených časových etapách lze regulovat automatizované doplňování leštící pasty. Zařízení opracovávanou součást odjehlí, dokonale vyleští a zaoblí v různém rozsahu dle vybraného média, rychlosti otáček a hloubky ponoru. Rychlost otáček ovlivňuje strojní čas a při správném využití lze docílit upraveného povrchu v relativně krátkém strojním čase.²⁶

Pro upravování povrchu ve strojním průmyslu, je v již zmíněné společnosti, dostupná řada DF. Tato řada nabízí podobná specifika, jako řada DF PHARMA od jednoduchého a rychlého upínání až po chlazení média. K zařízení je k dostání mnoha druhů upínačů pro obrobky různého tvaru, které strojní součást ideálně upevní a při vlečném omílání obrobek odjehlí, obrousí, zaoblí a vyleští dle zvoleného média. Zařízení se liší objemem nádoby pro médium, maximální možnou hmotností, průměrem držáků a jejich počtem. Na zařízeních lze ukládat programy procesu a zařízení jsou vybavena schopností tyto procesy zálohovat. Vnitřek bubnu může být také povlakován k dosažení delší životnosti zařízení. Zařízení této řady se také odlišují možným výkonem, rychlostí otáček, maximální délkou obrobku, celkovou velikostí zařízení pro vlečné omílání a rychlostí upínání. Dostupné je rovněž zařízení, které umožňuje otáčení upnutých obrobků nezávisle na sobě. Zařízení jsou vybavena frekvenčním měničem pro nastavení rychlosti vlečení obrobků. Volba vlečného zařízení je ovlivněna stabilitou konstrukce a přístupností k upínačům pro snazší a tím i rychlejší upínání.²⁶

Zařízení mohou být kromě základního držáku rotujícího kolem své osy dodávány spolu s držákem s náklonem, který se stává výhodným pro obrábění čelních ploch a také

s rychlovýměnným držákem pro kratší strojní časy. Na trhu jsou k dostání zařízení se dvěma bubny, kde se obrobek nejprve může brousit za mokra a po přesunutí do druhého bubnu leštit za sucha. To vede k výhodnější kvalitě povrchu při kratším strojním čase.²



Obrázek 2.4 – Zařízení pro vlečné omílání řada DF²⁶

2.1.2 Používaná média

Médium, které má při omílání velký význam lze rozlišovat podle tvaru a materiálu omílacích tělísek. Celkový omílací proces lze dělit na mokré a suché omílání, podle něhož bude médium následně rozděleno. Správná volba je preferující pro dosažení požadovaných vlastností omílaného povrchu. Vedle tvaru a materiálu média je určující pro omílací proces hmotnost tělísek, jejich velikost a tvar. Rozhodující je dále jestli je možné tento druh omílacího média separovat od omílaných součástí. Kvalita povrchu je určena správně vybraným omílacím médiem spolu s vhodným omílacím zařízením a parametry omílání. Zde popsaná média jsou používána pro většinu druhů omílacích zařízení.

Obrábění za mokra probíhá za přítomnosti vody, omílacích tělísek a kompaundu. Voda spolu s kompaundy zachytí obroušené částice při procesu a odvede je z omílacího prostoru. Kompaundy způsobí, že obrobky budou lesklé a chráněné před korozí. Tento přídatek také vytváří pěnu, která chrání obrobek před nápořem média. Existuje mnoho druhů kompaund. Například některé druhy tohoto přídatku jsou určeny pro jemné leštění a jiné pro univerzální leštění. Novinkou je ultrazvuková sloučenina konkrétně od firmy O.T.E.C., která z povrchu obrobku jednoduše odstraní mastnoty, oxidace a jeho použití je možné pro celou řadu kovů a slitin.²⁷

Tělíska pro mokré omílání jsou vyráběna z následujících materiálů: ²⁷

- **keramická omílací tělíska** – tělíska mají vysokou tvrdost, hustotu a jsou prospěšná pro broušení a leštění slitin oceli. Tento druh brusných tělísek je používán společně s brusnými pasty, které podstatně zvyšují účinek keramických omílacích těles a také prodlužují jejich trvanlivost. Omílací tělíska z keramiky jsou dostupné ve více tvarech, které zajistí v závislosti na velikosti a kvalitě požadovaný stupeň omílání.



Obrázek 2.5 – Keramická omílací tělíska ²⁷

- **plastová tělíska pro omílání** – tělíska, která jsou určena pro různou míru omílání, se v mnoha případech vyrábějí ve více barvách, kdy je každá barva určena pro jiný stupeň omílání. Tyto média jsou k dostání ve tvaru kuželu nebo pyramidy a jsou schopné dosáhnout leštícího účinku i velmi silného omílání obrobku. Plastová tělíska zabraňují vytvrzování v důsledku jejich měkkého pojiva s nižší hustotou a zamezují vzniku zvrásněného povrchu. Jejich použití je nejvhodnější zejména pro drahé kovy.



Obrázek 2.6 – Plastová omílací tělíska ²⁷

- **ocelová média** – média z oceli jsou výhodná díky své schopnosti neodebírat z omílaného předmětu žádný materiál. Povrch je tedy pouze vyleštěn a po omílání má plocha zvětšenou objemovou hmotnost. Používá se zejména pro drahé kovy.
- **zirkonové kuličky** – tyto kuličky jsou velmi tvrdé, mají dlouho trvanlivost a jsou dostupné v různých průměrech. Vhodné pro vytvoření dokonale vyleštěného povrchu a pro odjehlení, zejména u drahých a železitých kovů. Stejně jako u ocelového média nedochází k úběru materiálu, takže omílané těleso je pouze

zhutněno a vyleštěno. Toto médium se využívá především ve vibračním kruhovém zařízení.

- **mikrofinišovací materiál pro omílání** – jedná se o velmi malá keramická tělíska vyráběná slinováním, která jsou používána pro leštění a popřípadě jemné vyhlazení kalených součástí. Médium má velmi vysokou hustotu a je otěruvzdorné.

Omílání za sucha probíhá bez výskytu vody v médiu. Tento druh omílání je používán především k leštění. Vybrané druhy média jsou doplněny o lešticí pasty, brusné pasty nebo o lešticí prášky. Lešticí pasty výrazně přispívají ke zvýšení lesku a tím i ke kvalitnějšímu povrchu. Olej obsažený v těchto pastách zlepšuje antikorozi vlastnosti omílané součásti a jeho použití je upřednostněno na některé typy granulátů. Na trhu jsou k dostání různé typy past s možným použitím na vybrané materiály a se schopností dosažení různého stupně hladkosti a lesklosti povrchu. Lešticí prášky, jejichž uplatnění se vztahuje na granuláty, rovněž vytváří vysoce lesklý a hladký povrch. Lešticí prášky je nutné kombinovat s oleji či tuky, které jsou nutné pro usazení prášků na lešticím médiu. Při suchém obrábění dochází vlivem tribologických vlastností u většiny materiálů omílacích tělísek k odeírání materiálů.²⁸

Média pro suché omílání:²⁸

- **granuláty z vlašských ořechů** – granuláty tohoto typu zajišťují dokonalé vyleštění, vyhlazení a jemné zaoblení ostří. Granuláty, jak již bylo podotknuto, jsou doplňovány pasty nebo prášky. Granuláty z vlašských ořechů použité v kombinaci s lešticí pastou zajistí výjimečně hladké povrchy a používají se pro omílání barevných kovů, titanu, šperků a slitin oceli. Pro odjehlení a jemné omílání se naproti tomu využívají tyto granuláty spolu s brusnou pastou. Tato kombinace je vhodná k redukci vzniku dolíčků na povrchu. Při použití přísady ve formě lešticího prášku je povrch vyleštěn, bříty jsou jemně zaoblené a povrch je vyhlazen. Použití je zaměřováno na slinuté karbidy a keramiku. Všechny typy granulátů z vlašských ořechů jsou dostupné v různých zrnitostech.
- **omílací média TZ** – toto médium, které je dostupné ve tvaru válce se využívá pro zaoblování ostří nástrojů, které jsou opatřeny centrálními otvory pro mazání či chlazení. Požadovaná drsnost a omílací efekt závisí na velikosti tohoto média. Médium tohoto typu je pojené polyuretanem a jako přísada pro omílání se používá karbid křemíku, který vyniká výhodnými brusnými vlastnostmi. Velkou výhodou

média je jeho nepraskavost a tvarová stálost. Dalším přínosem je vzájemné dobrušování brusných tělísek mezi sebou.



Obrázek 2.7 – Omílací média pro suchý proces TZ²⁸

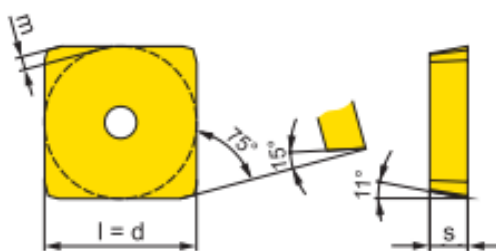
- **granuláty QZ W** – jsou média vyráběné z oxidu hlinitého, který je odolný proti korozi a oxidaci. Korund vyniká svou tvrdostí a jeho použití je vhodné na všechny druhy materiálu mimo diamant, se kterým by mohl chemický reagovat. Slouží k zaoblování břitů a umožňuje dosažení nízké drsnosti. Velikost zaoblení ostří závisí na zvolené zrnitosti granulátu.
- **granuláty HSC** – jeho aplikování je omezováno pouze na určitá omílací zařízení, ale má vysokou schopnost dosáhnout kvalitního povrchu s velmi nízkou drsností. Jeho použití je účelné zejména pro nástroje ze slinutých karbidů a rychlořezné oceli, kde vyhladí povrch, zaoblí ostří a vyleští povrch. Je vhodný pro omílání povlakovaných nástrojů.
- **plastová leštící média** – při použití tohoto média nedochází k úbytku materiálu z důvodu jeho pravidelné geometrie. To je žádoucí zejména pro leštění šperků, kde toto médium dosáhne vysoké stupně lesku. Další výhodou geometrie, oproti již zmíněným tělískům pro suché omílání, je neprašnost procesu.
- **kukuřičný granulát** – jedná se o typ granulátu, jenž je používán v kombinaci s leštícím práškem a je schopen vytvořit velmi lesklý a hladký povrch. Granulát je hodně měkký a jeho využití se uplatňuje zejména při výrobě implantátů nebo v automobilovém průmyslu.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Součástí této práce je zhodnocení vlivu vlečného omílání na vlastnosti integrity povrchu VBD. V průběhu hodnocení vlastností integrity povrchu byl proveden experiment ve formě řezné zkoušky s následným vyhodnocením, jak jednotlivé vlastnosti integrity povrchu ve svém propojení zapůsobily na trvanlivost bříty VBD. Vyhodnocení proběhlo na snímcích z optického mikroskopu. Předmětem zkoumání se dále stala plošná drsnost a celková analýza mikrostruktury povrchu pomocí elektronového mikroskopu. Testy probíhaly na čtvercových VBD s otvorem pro upínání. Tyto VBD se čtyřmi řeznými bříty jsou určeny pro frézování ocelí. Vzorky VBD byly povlakované dvěma typy povlaků PVD, které byly označeny jako typ povlaku A a typ povlaku B. U všech zmíněných testů se srovnává povrch povlaku VBD bez úpravy, po vlečném omílání a po procesu mokrého pískování. Všechny vzorky byly vždy před měřením či focením na mikroskopu očištěny od prachu a dalších nečistot. Schéma typu použitých VBD je uvedeno na obrázku číslo 3.2, ke kterému jsou v tabulce číslo 1 uvedeny rozměry použitých vzorků. Vynechané informace obsahují údaje firmy DormerPramet, které nemohou být zveřejněny.

Tabulka 1 – Rozměry zkoumaných VBD ²⁹

l [mm]	d [mm]	s [mm]	m [mm]
12,7	12,7	3,18	0,88



Obrázek 3.1 – Schéma zkoumaných VBD ²⁹



Obrázek 3.2 – Fotografie vybraných zkoumaných VBD

3.1 Proces vlečného omílání

VBD byly omílány v zařízení od firmy O.T.E.C. CR, s.r.o. ve výrobní části firmy DormerPramet. Zařízení nese název DF-3TOOLS a je vybaveno třemi upínacími hlavicemi pro držáky. V tomto zařízení lze současně obrábět maximálně 18 obrobků. Tento počet omílaných součástí nemusí být pro strojní časy nejvýhodnější, proto je důležité zhodnotit, jak rozsáhlý vliv má povrchová úprava tohoto zařízení na vybrané druhy povlaků VBD.

Mezi nejdůležitější parametry vlečného omílání patří vlečná rychlost. Při vysokých rychlostech otáček držáku přitlačný tlak média na omílané VBD stoupá a proces se stává rychlejším. Rychlost omílání byla tedy navržena co nejvyšší, ale při navrhování byl brán ohled na opracování celého povrchu VBD a na zamezení poškození břitu vzorků. Při příliš vysokých rychlostech otáček omílaných objektů by mohly tato negativa nastat. U zařízení pro vlečné omílání používané firmou DormerPramet je možné nastavit zvlášť rychlost otáček pro držák a upínací hlavici. Pro míru úpravy povrchu je ovlivňující hloubka ponoření vzorku do média. Příliš velký ponor totiž vede k obroušení povlaku. Dá se poznamenat, že podle hloubky je možné určit stupeň úpravy povrchu. Doba omílání je dalším určujícím parametrem pro úroveň drsnosti a velikost zaoblení ostří. Destičky jsou při omílání upnuty kolmo na přímý držák. Bylo nutné, aby proces vlečného omílání probíhal s médiem, které šetrně odebírá z povrchu materiál, jelikož požadavkem je odstranění makročásteček z povrchu. Jako médium byly zvoleny již popsané granuláty z vlašských ořechů spolu s přísadou zrn karbidu křemíku. Hodnoty veličin parametrů vlečného omílání jsou uvedeny v tabulce číslo 2.

Tabulka 2 – Parametry vlečného omílání

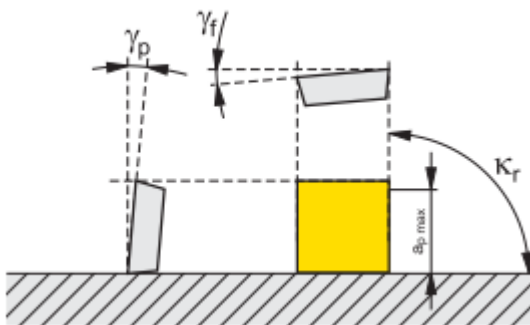
Rychlost držáku:	1/min
Hloubka ponoru:	mm
Doba omílání:	s
Rychlost upínací hlavice:	1/min

3.2 Řezná zkouška – zkouška trvanlivosti

Řezná zkouška vzorků byla prováděna na frézce, kde nástrojem byla frézovací hlava o průměru 100 mm pro 6 VBD. Frézovací hlava nese označení W75SP12D. Frézovací hlava s upnutými VBD obráběla materiál po délce mm 10ti a následně 14ti přejedy. Jako obráběný materiál byla vybrána středně uhlíková nelegovaná ocel normy ČSN 12 050.1. Chladicí kapalina při procesu frézování byla nasměrována přímo na břit VBD při vyjetí z místa řezu, pro jeho co největší tepelné ovlivnění. Na fréze bylo upnuto při jednom procesu zkoušení 6 vzorků VBD. Z toho byly 3 vzorky pokryté povlakem typu A (zbylé VBD pokryté povlakem typu B). U každého povlaku byla použita VBD bez úpravy, po vlečném omílání a po mokřém pískování. Od každé povrchové úpravy tedy byly na frézovací hlavě 2 vzorky (každý s jiným typem povlaku). Proces byl opakován s novými VBD, ale bylo provedeno 14 přejezdů. Následně byl celý popsán postup opakován s nepoškozenými vzorky stejných úprav a povlaků pro statistické účely. Testování každého vzorku proběhlo pro dva protilehlé břity VBD. Hodnoty veličin geometrie VBD pro schéma obrázku 3.3 jsou uvedeny v tabulce číslo 3.

Tabulka 3 – Geometrie VBD při řezné zkoušce ²⁹

γ_f	γ_p	κ_r	$a_{p \max}$
+2°	+5°	75°	12 mm



Obrázek 3.3 – Schéma geometrie VBD při řezné zkoušce ²⁹



Obrázek 3.4 – Typ frézovací hlavy použité pro řeznou zkoušku ²⁹



Obrázek 3.5 – Průběh řezné zkoušky

Celý proces řezné zkoušky probíhal v centru pro zkoušení společnosti DormerPramet. Po zkouškách byly oba břity řezného nástroje zkoumány pomocí optického mikroskopu. Celkem bylo pořízeno 48 fotografií pro vizuální kontrolu poškození. Zejména byl hodnocen rozsah trhlin. Všechny snímky vytvořené na optickém mikroskopu byly vytvořeny ve stejném přiblížení. Pořizování fotografií pro účely následného zkoumání bylo provedeno v laboratorních částech firmy DormerPramet. Tabulka číslo 4 udává parametry, které byly navrženy pro řeznou zkoušku vzorků VBD.

Tabulka 4 – Řezné podmínky frézování

Průměr frézy	D	mm
Vstupní úhel naklonění frézy	κ	°
Řezná rychlost	v_c	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu	a_p	mm
Posuv na zub	f_z	mm
Šířka záběru	a_e	mm
Délka záběru (1 přejezd)	L	mm
Chlazení	ANO	

3.2.1 Digitální mikroskop VHX 6000

Jak již bylo poznamenáno, fotografie byly nafoceny na optickém mikroskopu. Konkrétně byl použit mikroskop od firmy Keyence. Tento novější typ mikroskopu má celou řadu prospěšných vlastností. Vyniká velmi kvalitním vícenásobným osvětlením, které oproti jiným mikroskopům umožňuje vytvářet optimálnější snímky pro měření, porovnávání a vyhodnocování. Zaostřování je prováděno automaticky a fotografii je možné zobrazit v rozlišení, které je výhodné pro sledování a průzkum defektů zkoumaných břitů VBD. Díky možnosti posunu a naklání objektivu lze vytvořit trojrozměrné fotografie. Objektív posunem nafotí mnoho snímků a ty automaticky poskládá dohromady, takže lze ve velkém přiblížení vytvořit jeden velký dvourozměrný či trojrozměrný obraz plochy s velmi kvalitním rozlišením. Prohlížení zkoumaného vzorku lze vykonávat v reálném čase na monitoru, který je dodáván v sadě s mikroskopem a posouváním objektivu pomocí páky, která umožňuje předmět zkoumat po celé ploše v požadovaném přiblížení. Zařízení velmi rychle vytvoří snímky hlavně díky rychlému zaostřování. Další výhodou je možnost pozorovat objekty, které nejsou příliš kontrastní či lesklé. Měření defektů zařízení umožní na základě schopnosti snímání změn jasu, kontrastů a barevného spektra. Přímou na monitoru lze změřit všechny potřebné vzdálenosti, a to pouze kliknutím počítačové myši na koncové body hledané vzdálenosti. Stejným způsobem lze měřit úhly, plochy a průměry. Detekce okrajů, kterou program provádí automaticky pomocí změn kontrastu a jasu, redukuje chyby měření při nepřesném kliknutí na požadované body vzdálenosti.³⁰

Schopnost měření, ale nebyla v práci využita, jelikož vizuální průzkum břítu lépe umožnil mezi sebou srovnávat vady, a to nejenom z hlediska jejich rozměrů. Snímky břitů VBD v daném přiblížení byly velice kvalitní a vhodné pro zkoumání a následné vyhodnocení díky funkci velkoplošného focení spolu s velmi kvalitním osvětlením. Bylo samozřejmě

nutností očistit velmi důkladně povrch nástroje od nečistot a prachu, aby se nestaly součástí snímku, kde by překážely vizuální kontrole.



Obrázek 3.6 – Optický Mikroskop VHX 6000 ³⁰

3.3 Vyhodnocení řezné zkoušky

Celý proces vyhodnocování souhrnného poškození probíhal formou známkování. Vizuální metodou byla každému břítu přidělena známka dle tabulky číslo 5.

Tabulka 5 – Míra opotřebení u jednotlivých známek

Známka	Míra znehodnocení břítu řezného nástroje
1	Žádné nebo téměř žádné opotřebení
2	Minimální nedestruktivní opotřebení
3	Průměrné opotřebení
4	Velké poškození, které většinou vede k destrukci (velká vyštípnutí blízko u sebe, vysoký počet trhlin)
5	Velmi silné destruktivní poškození

Vizuální hodnocení defektů jednotlivých břitů VBD a následné přiřazení vzorku k patřičné známce není nejpřesnější možnou metodou vyhodnocení. Ovšem pro přibližné srovnání a stanovení vlivu povrchových úprav na trvanlivost je tato metoda dostačující. Toto přibližné hodnocení je rozhodující pro průběh dalších testování s více vzorky. Stejně jako u dalších testování se hodnotily také VBD upravované mokřým pískováním. Technologie mokrého pískování je ve firmě DormerPramet používána, takže bylo účelné zjistit, jaký vliv má tato povrchová úprava na poškození břítu VBD. Známky byly přiděleny na základě počtu trhlin a jejich rozsahu. Zejména jestli došlo u jednotlivých trhlin k vyštípnutí materiálu. Vyštípnutí materiálu u břítu řezného nástroje může vést k jeho úplné destrukci. Obzvláště

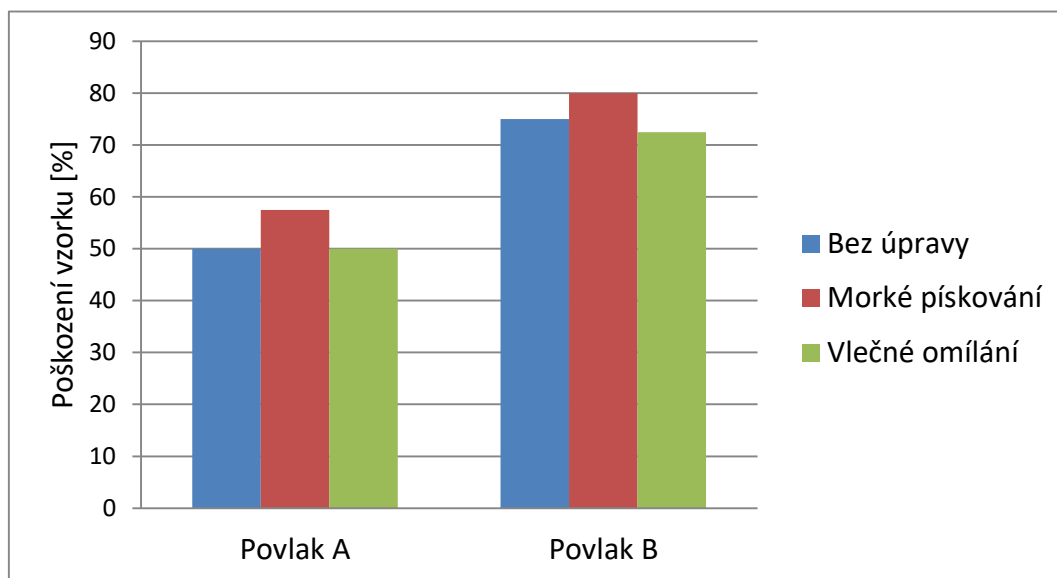
pokud je počet vyštípnutí na zkoumaném břitu vyšší, tak v případě jejich blízkosti většinou dochází k vylomení části břitu mezi vyštípnutími. Z toho důvodu byla brána v úvahu i vzdálenost trhlin s vyštípnutím, jejich počet a velikost. Po oznámkování probíhal výpočet průměrného ohodnocení každé povrchové úpravy u obou typů povlaků. Snímky břitů VBD, které nejsou součástí hlavní textové části práce, jsou zobrazeny v přílohách, kde je u každého snímku identifikován povlak, počet průjezdů, zkoumané ostří a vzorek. V tabulce číslo 6 jsou zahrnuty jednotlivé známky pro obě ostří zkoumaného vzorku VBD.

Tabulka 6 – Hodnocení defektů břitu

Povrchová úprava	Povlak	Známkování				Průměrná známka úpravy povrchu
		10 přejezdů		14 přejezdů		
		Vzorek 1 (ostří 1/ ostří 2)	Vzorek 2 (ostří 1/ ostří 2)	Vzorek 1 (ostří 1/ ostří 2)	Vzorek 2 (ostří 1/ ostří 2)	
Bez úpravy	Typ A	3/1	2/3	3/3	3/2	2,5
Mokrý pískování		2/3	2/2	4/4	3/3	2,875
Vlečné omílání		3/3	1/1	3/2	3/4	2,5
Bez úpravy	Typ B	3/4	3/3	3/5	4/5	3,75
Mokrý pískování		4/3	3/3	5/5	4/5	4
Vlečné omílání		5/3	3/2	4/3	5/4	3,625

Pro výsledné vyhodnocení byl prioritní poslední sloupec, tedy průměrná známka určitého procesu při daném povlaku. V případě povlaku typu B jde na průměrném vyhodnocení vidět, že u VBD vlečně omílaných je při 10ti a 14ti přejezdech výsledná známka nejpříznivější, ale rozdíl s průměrnou známkou povrchu vzorků bez úprav není příliš značný. Z hlediska trvanlivosti má na tento povlak mokré pískování negativnější vliv než vzorek bez úprav. Rozhodně by pro tento povlak bylo vhodné další testování vlečného omílání s větším počtem vzorků pro vhodnější představu a stanovení, jak vlečné omílání zapůsobilo na trvanlivost břitu VBD. Podle vizuálního hodnocení defektů na VBD s povlakem typu A je stav povrchu vlečně omílaných břitů hodnocen stejně jako u VBD bez úprav. U vzorků, které byly upravovány technologií mokrého tryskání bylo opotřebení opět nejvíce destruktivní. Podle celkového hodnocení mokré pískování působí u obou typů

povlaku spíše negativně na celkovou trvanlivost bříty. Vlečné omílání oproti tomu mělo stejné nebo trochu lepší hodnocení než povrch bez úpravy.



Graf 1 – Průměrné poškození vzorků v procentech

Důležité při průzkumu povrchu je nejen celkové hodnocení, ale také rozbor jednotlivých vad, které byly v tabulce číslo 6 hodnoceny v závislosti na sobě. Pokud se jedná o trhliny a nebere se ohled na jejich vyštípnutí, tak na břitech VBD s neupravovaným povlakem typu A byl zaznamenán nejmenší průměrný počet trhlín. V průměru nejvíce trhlín na jednom bříty s povlakem typu A se nacházelo na povrchu bříty s úpravou mokrého pískování. Rozdíly ve středním počtu trhlín na břitech s jednotlivými úpravami a na bříty s povrchem bez úpravy byly velmi malé. V průměru nejméně trhlín na bříty u druhého typu povlaku se nacházelo na vlečně omílaném povrchu VBD. Skoro stejný průměrný počet trhlín měly vzorky VBD s povrchovou úpravou mokrého pískování. Rozdíl průměrného počtu trhlín na bříty u upravovaných VBD a povrchů bez úpravy také nebyl příliš značný.

VBD, které byly vlečně omílané měly v průměru nejnížší počet trhlín s vyštípnutím na jednom bříty v případě povlaku typu A. Povlak bez úpravy a povlak upravovaný mokrým pískováním měly v případě povlaku A přibližně stejný vliv na průměrný počet trhlín s vyštípnutím na bříty VBD. Lišila se velikost vyštípnutí, která byla rozlehlejší u trhlín na břitech, jenž byly upravovány mokrým pískováním. U povlaku typu B se v průměru nejvíce vyštípnutí opět vyskytlo na břitech VBD, které byly upravovány mokrým pískováním. Velmi prospěšně u VBD s povlakem B dopadly v případě středního počtu trhlín s vyštípnutím vlečně omílané bříty, kde bylo na snímcích vidět, že vlečné omílání má pozitivní vliv na odolnost povrchu proti vyštípnutí. Ze srovnávacích důvodů pro firmu DormerPramet je

vhodné zmínit, že u VBD s povlakem B vzniká na břitě řezného nástroje rozsáhlejší poškození, a to u všech typů úprav povrchu.

V případě mokrého pískování je znatelné jeho nevhodné působení na delší trvanlivost břitů. Je pravděpodobné negativní působení této úpravy povrchu na určité vlastnosti integrity povrchu. U vlečné omílaných VBD byl stav příznivější, jelikož u VBD s povlakem typu A vlečné omílání nepatrně zamezilo vznik trhlin s vyštípnutím na břitě. To může vést k delšímu provozu těchto VBD oproti břitům bez úpravy nebo břitům s úpravou mokrého pískování. Ale jak již bylo zmíněno, rozdíly v průměrných počtech trhlin s vyštípnutím u VBD s jednotlivými úpravami nebyly příliš značné.

Bylo by vhodné provedení dalších testování pro potvrzení vlivu této povrchové úpravy na povlak typu A. Nicméně z hlediska destrukce břitů má vlečné omílání nepatrný vliv na delší trvanlivost VBD. Na povlak typu B z pohledu delší trvanlivosti zapůsobilo vlečné omílání značněji oproti zbylým úpravám, zejména z hlediska vyštípnutí materiálu, kde byly rozdíly s ostatními úpravami vyšší než u povlaku typu A. Celkový stav vlečné omílaných břitů VBD byl také příznivější oproti povrchům břitů bez úpravy a mokře pískovaným břitům. Ve výsledku mělo vlečné omílání vliv na menší poškození břitů, zejména z pohledu jeho pozdější pravděpodobné destrukce v případě povlaku typu A i B. U povlaku typu B má vlečné omílání pozitivnější vliv oproti povrchu bez úprav i v počtu trhlin.



Obrázek 3.7 – Ostří 1 s povlakem B po 10ti přejezdech (vzorek 2)

3.4 Měření plošné drsnosti bříty

V teoretické části, již bylo popsáno, jak je drsnost povrchu bříty řezného nástroje důležitá vlastnost integrity povrchu. Proto se tato vlastnost stala po komplexním hodnocení první věcí, kterou se bylo potřeba zabývat. Měření plošné drsnosti proběhlo na povrchově neupravovaném vzorku, na vzorku po vlečném omílání a na mokře pískovaném vzorku. Z důvodu chyb při měření, statistických důvodů a vhodnější informovanosti o celém povrchu bříty se uskutečnilo pro každý vzorek měření na třech břitech VBD, a to pro oba dva typy povlaku. Plošná drsnost byla měřena ve vzdálenost 1,5 mm od špičky v ose x i y. Měřená plocha má velikost 0,81 x 0,81 mm. Srovnání proběhne na základě průměrné aritmetické úchytky plochy. Při měření nedocházelo k žádným problémům. V následující tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty Sa pro zkoumané povlaky. Z jednotlivých výsledků lze vidět, že se hodnota Sa na různých břitech dané VBD docela lišila.

Tabulka 7 – Naměřená plošná drsnost Sa

Povlak	Úprava	Sa [μm]		
		1	2	3
Typ A	Bez úpravy			
	Vlečné omílání			
	Mokré pískování			
Typ B	Bez úpravy			
	Vlečné omílání			
	Mokré pískování			

3.4.1 Optický mikroskop Alicona G5

Pro měření drsnosti bylo použito zařízení od společnosti Alicona. Jde vlastně o trojdimenzionální měřicí přístroj, který dokáže velmi rychle a efektivně změřit parametry plošné drsnosti povrchu. Parametry plošné drsnosti dávají značně přesnější informace o povrchu dané součásti oproti hodnotám parametrů profilové drsnosti. Pokud je provedeno více měření profilové drsnosti, a to ve více směrech a místech, tak průměrná hodnota lépe vystihuje danou plochu, jelikož více řezů lépe charakterizuje povrch a řezné roviny protínají místa s vady i bez vad. Ale i v případě velmi velkého počtu řezů nebude průměrná hodnota profilové drsnosti všech řezů vystihovat danou plochu tak přesně jako hodnota plošné drsnosti.³¹

Měření plošné drsnosti je tedy jednou z mnoha výhod zařízení. Další výhodou se stává současné měření tvaru a plošné drsnosti povrchu. To je výhodou zejména u řezných nástrojů, kde zařízení umožňuje změřit zaoblení ostří a plošnou drsnost velmi rychle a efektivně. Výsledným obrazem tohoto zařízení je kvalitní detail povrchu v pravých barvách a ve vysokém rozlišení spolu s velmi přesnými hodnotami parametrů plošné drsnosti. Lze také opticky rozpoznávat různé druhy vad. Větší plochy lze měřit a zkoumat z důvodu pohyblivosti podložky v osách x a y. Pro vytvoření snímků větších ploch si po nastavení souřadnic zařízení automaticky poskládá daný obraz z jeho jednotlivých částí. Podle výrobce je rozsah ploch, které lze měřit skoro neomezený. Zkoumaná plocha je při posunech a natočení vždy optimálně osvětlena díky LED a koaxiálnímu osvětlení.³²



Obrázek 3.8 – Optický mikroskop Alicona G³²

3.4.2 Vyhodnocení plošné drsnosti povrchu břitů

Pro přehlednější vyhodnocení byly pro jednotlivá měření vytvořeny průměrné hodnoty plošné drsnosti parametru S_a ze všech uskutečněných měření pro každou povrchovou úpravu daného povlaku. Průměrné hodnoty tohoto parametru plošné drsnosti pro jednotlivé úpravy jsou uvedeny v tabulce číslo 8 a byly vypočítány dle vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

kde: x_i ...jednotlivé hodnoty S_a naměřené na povrchu dané úpravy,

n ...počet provedených měření na tomto povrchu.

Tabulka 8 – Průměrná plošná drsnost S_a

Povlak	Úprava	$\overline{S_a}$ [μm]
Typ A	Bez úpravy	
	Vlečné omílání	
	Mokrý pískování	
Typ B	Bez úpravy	
	Vlečné omílání	
	Mokrý pískování	

Graf 2 – Průměrná plošná drsnost S_a u jednotlivých úprav

Podle průměrných hodnot parametru plošné drsnosti zkoumaných typů úprav povrchu mělo vlečné omílání značný vliv na výsledné vyhlazení povrchu břitů. V případě povlaku typu A obě povrchové úpravy značně snížily výslednou průměrnou hodnotu plošné drsnosti břitů VBD. Průměrná hodnota S_a vyhodnocená z měření na třech ostřích je nejnižší u technologie povrchové úpravy vlečného omílání. Skoro stejný výsledek vyhodnotily měření u břitů upravených mokřím pískováním. U VBD s druhým typem povlaku lze vidět, že mokré pískování neovlivnilo průměrnou hodnotu plošné drsnosti povrchu břitů. Povrchová úprava, ale mohla odstranit pouze makročástice vzniklé technologií povlakování. Naproti tomu vlečné omílání snížilo průměrnou hodnotu daného parametru plošné drsnosti břitů ještě na nižší stupeň než u povlaku A. Podle tohoto vyhodnocení by vlečné omílání bez závislosti na ostatních vlastnostech integrity povrchu mělo snižovat tepelné zatěžování

nástroje. Lze také podotknout, že u neupravovaných břitů s povlakem B byla vyhodnocena znatelně nižší průměrná hodnota S_a než u břitů s povlakem typu A bez úpravy.

3.5 Hodnocení mikrogeometrie břitů VBD

Při hodnocení drsnosti povrchu není důležité jen výsledné číslo, které nám vyhodnotí měřicí přístroj. Důležitou součástí této vlastnosti integrity se stává zhodnocení povrchu vizuálně ve velkém přiblížení pod mikroskopem. U povlaku PVD totiž může dojít k situaci, kdy je parametr plošné drsnosti S_a před úpravou a po úpravě přibližně stejný. To může vést k mylnému závěru, že daná povrchová úprava nemá vliv na tento parametr integrity povrchu. Na povlaku PVD se nacházejí makročástice, které by se měly procesem povrchových úprav odstranit z povrchu VBD. Před odstraněním těchto makročástic byla hodnota drsnosti vyšší z toho důvodu, že část těchto makročástic zasahuje nad povrch. Při úpravě povrchu je snaha tyto objekty odstranit vlivem působení média. Jelikož část makročástic zasahuje do povrchu a většinou se jedná přibližně o polovinu, tak při dané povrchové úpravě se výstupek změní v přibližně stejné vyloupnutí a průměrná hodnota plošné drsnosti zůstane stejná. Prohlubně po makročásticích, ale nepůsobí z hlediska trvanlivosti na řezný proces tak negativně. Makročástice na povrchu, jak již bylo uvedeno, způsobují tření, které vede k tepelnému zatěžování. Naproti tomu do prohlubní po makročásticích se dostává řezná kapalina a nástroj není tak zatěžován přebytečným třením. V jakém rozsahu zatížení eliminuje, je už předmětem dalšího zkoumání. Při hodnocení byla pozornost zaměřena i na povrch mokře pískované VBD, jelikož průměrná hodnota S_a získaná ze tří měření se po této úpravě povrchu nezměnila. Tím pádem je potřeba zhodnotit, jestli mokré pískování odstranilo makročástice z povlaku typu B. Dále lze zhodnocením mikrogeometrie povrchu zjistit, v jakém stupni je povrch znečištěn vybraným médiem. Pro průzkum povrchu byly použity stejné vzorky VBD, na kterých byla měřena plošná drsnost břitů. Nafocena byla plocha ve vzdálenosti 1,5 mm od špičky břitu v ose x i y .

3.5.1 Elektronový mikroskop

Pro vytvoření snímků byl použit rastrovací mikroskop MIRA3 LM od firmy Tescan, který je součástí laboratoře DormerPramet. Při testování byla VBD položena do vakuového prostoru měření pro plynulý přechod elektronů. Elektrony postupně dopadali na každé místo dané plochy po řádcích. Poté byly odražené paprsky převedeny na obraz. Elektronový mikroskop se stává pro vizuální hodnocení mikrogeometrie řezného nástroj více účelným oproti optickému. Urychlené elektrony mají totiž vlnovou délku velmi malou, takže lze povrch zobrazit v mnohem větším přiblížení než na optickém fotonovém mikroskopu,

který by pro porovnání mikrogeometrie bříty řezného nástroje nemusel být dostačující, a to zejména pro porovnávání a hodnocení makročástic vyloučených z PVD povlaku.

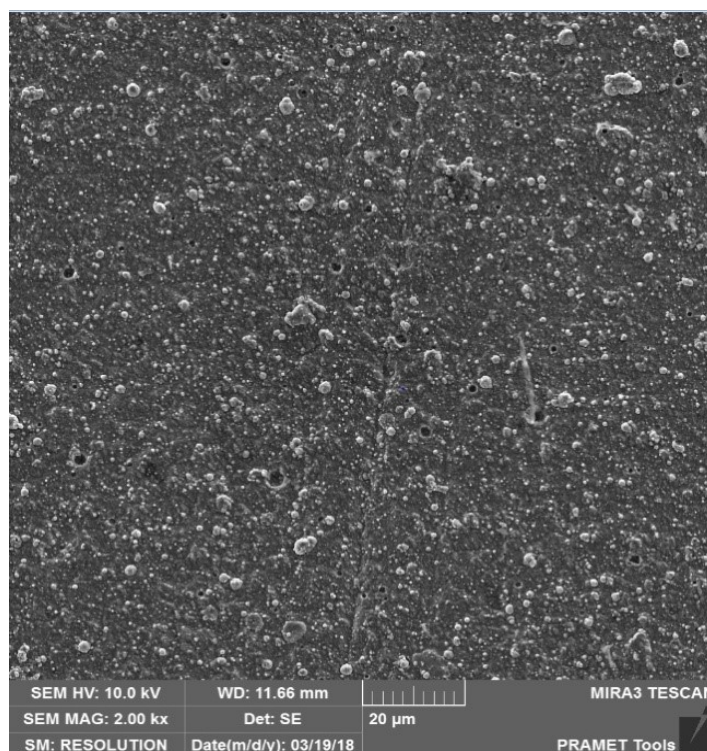
Použitý mikroskop je schopený dosáhnout u snímků velmi vysokého rozlišení díky Schottkyho elektronové trysce, která je jedna z nejefektivnějších, ale také nejdražších trysek. Celkovou nevýhodou elektronových mikroskopů je jejich vysoká cena a vibrace zařízení při procesu. Při patřičném nastavení parametrů mikroskopu lze docílit kvalitního snímku s téměř žádným šumem a vysokým jasnem. Po uložení vzorku do vakua je rychlost zobrazování v přiblížení velmi vysoká. Na mikroskopu lze jednoduše ovládat, jak silný proud paprsků elektronů bude dopadat na jednotlivé body vzorku.

Výrobní řada MIRA 3 nabízí různě velké komory, kde lze se vzorkem pohybovat v osách x, y a z. Velikost komory pro hodnocení VBD je označena LM a je to druhá nejmenší komora z této výrobní řady. Tento typ umožňuje kromě posunu v osách také naklánění a otáčení zkoumaného vzorku. Průměr komory je 230 mm a maximální výška kontrolovaného objektu je 81 mm. Další výhodou je možnost nastavení míry vakua. Míra vakua se nastavuje podle toho, jak je vzorek vodivý a podle přípravy vzorku. Operace lze jednoduše automatizovat.³³

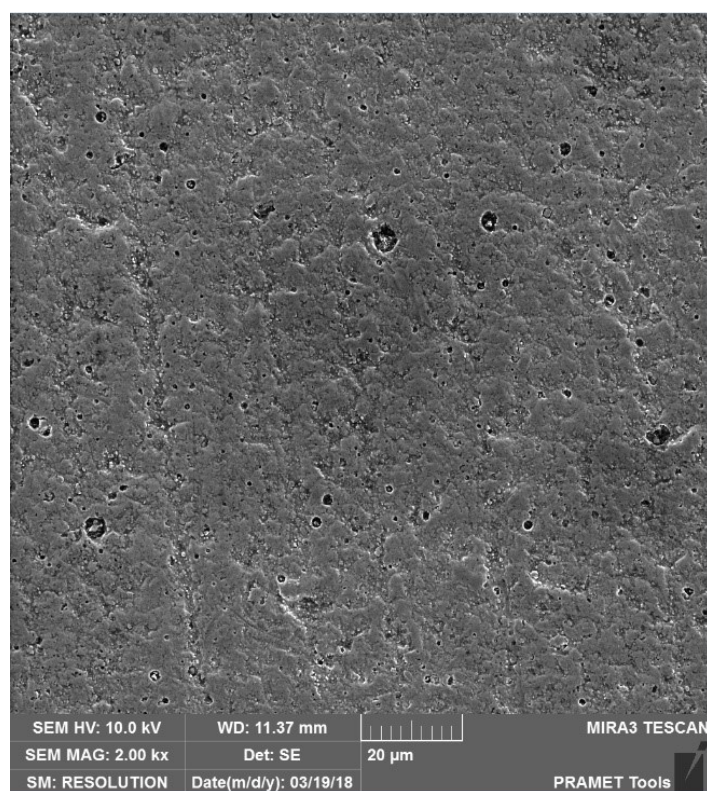


Obrázek 3.9 – Elektronový mikroskop MIRA3³³

3.5.2 Vyhodnocení mikrogeometrie



Obrázek 3.10 – VBD s povlakem A bez úpravy



Obrázek 3.11 – VBD s povlakem A po vlečném omílání

Snímky povlaku B před a po úpravách a povlaku A po mokrém pískování jsou zahrnuty v přílohách této práce. Z fotografií lze znatelně rozpoznat, že použití povrchových úprav vedlo k odstranění makročástic u obou typů povlaku, takže by měly přispět k menšímu zatěžování nástroje při řezném procesu. Jelikož povlak okopíroval stopy po broušení na substrátu, tak se v nich po procesu vlečného omílání usadili nečistoty z média. Po povrchové úpravě povlaku mokrým pískováním znečištění nenastalo z důvodu dopadu abraziva vysokou rychlostí na povrch VBD. Podle snímku vybraného místa břitu s povlakem typu A je vidět, že vlečné omílání zajistilo nejhladší povrch, což už potvrdilo i měření plošné drsnosti. Nevýhodou jsou ale nečistoty, které se nachází v prohlubních po makročásticích. Stejný případ nastal u povlaku typu B, pouze stopy po broušení okopírované povlakem jsou u některých VBD rozsáhlejší, takže je výsledek více zkreslující. Lze také vyhodnotit, na jakém povlaku vzniká větší množství makročástic. Podle snímků makročástice vznikají z procesu povlakování více na povlaku typu B, a to ve velké míře. U povlaku B s povrchovou úpravou mokrého pískování, kde se průměrná hodnota plošné drsnosti nezměnila, podle vizuálního hodnocení došlo rovněž k odstranění makročástic. Na snímku u povlaku B šlo vidět, jak husté je osázení makročásticemi po povrchu břitu VBD. To mělo vliv na průměrnou hodnotu S_a , kterou vyhodnotilo měření plošné drsnosti. Osázení je tak husté, že výsledná hodnota S_a je o dost nižší než u povlaku A.

4 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Celkové vyhodnocení uskutečněných měření, testování a analýzy se liší pro oba dva typy povlaku. Vlečné omílání a mokré pískování povlaku typu A podle souhrnného známkování celkové destrukce břitů VBD po řezné zkoušce, neměly vliv na jeho menší poškození. Pokud se jedná o jednotlivé defekty, tak povrchová úprava vlečného omílání zajistila menší počet trhlin s vyštípnutím na břitů VBD. To může mít pozitivní vliv z hlediska pozdější destrukce břitů s úpravou vlečného omílání oproti břitům bez úpravy a břitům mokře pískovaným. U VBD povrchově upravovaných mokrým pískováním je stav břitů řezných nástrojů ještě více opotřebován než ostří bez úprav povrchu, a to z hlediska průměrného počtu trhlin i vyštípnutí materiálu. Rozhodně by bylo prospěšné provedení dalších testování s větším počtem vzorků u tohoto povlaku pro potvrzení vlivů povrchových úprav na trvanlivost VBD. Popřípadě by bylo vhodné vyzkoušet řeznou zkoušku s více přejezdy, což by umožnilo sledovat, u které VBD nastane nejrychleji lom mezi trhlinami. Na vzorcích bez úpravy bylo sice v průměru nejméně trhlin, ale trhlina bez vyštípnutí materiálu není pro nástroj tolik destrukční jako s úbytkem materiálu. Rozdíly v počtu trhlin a množství trhlin s úbytkem materiálu na břitů VBD mezi povrchem bez úpravy a povrchově upravovaných břitech nejsou příliš značné. Průměrná hodnota plošné drsnosti parametru S_a je u vzorků upravovaných vlečným omíláním nejnižší. Obě úpravy povrchu efektivně odstranily makročástice, takže by mělo docházet k menšímu tepelnému zatěžování nástroje s těmito úpravami povrchu. Průměrná hodnota S_a a odstranění makročástic z povrchu byly při použití obou povrchových úprav břitů přibližně stejné, takže by tyto dva parametry neměly být důvodem rozsáhlejšího poškození VBD s povrchovou úpravou mokrého tryskání.

Na VBD s povlakem typu B šla rozpoznat nejmenší celková destrukce břitů řezného nástroje po řezné zkoušce u vzorků s povrchovou úpravou vlečného omílání. Dále také počet vyštípnutí na břitů VBD byl nejmenší. U mokrého pískování, stejně jako u předešlého typu povlaku, pozitivní vliv na opotřebení VBD vidět nebyl i přesto, že došlo k odstranění makročástic. Průměrný počet trhlin na břitu, u kterého proběhla povrchová úprava mokrého pískování, byl sice skoro stejný jako u vlečně omílaných břitů, ale průměrné množství trhlin s vyštípnutím na břitu bylo vyšší. Stejně tak povrch bez úpravy měl pozitivnější vliv na nižší počet trhlin s vyštípnutím na břitu než mokré pískování. Z výsledků měření hodnot S_a je patrné, že vlečné omílání významně snížilo průměrnou hodnotu tohoto parametru plošné drsnosti. Na snímcích z elektronového mikroskopu bylo vidět, že vlečné omílání odstranilo makročástice vzniklé při procesu povlakování. Po procesu mokrého pískování sice

došlo k odstranění makročastic, ale průměrná hodnota S_a se po povrchové úpravě nesnížila. Plošná drsnost tedy může být parametrem, který ovlivňuje trvanlivost VBD u povlaku typu B. Stejně tak mohou být ovlivňujícími činiteli i další parametry integrity povrchu, zejména ve svém vzájemném propojení. Při testování vlivu mokrého pískování na trvanlivost VBD se u obou povlaků dá doporučit změřit změny zbytkových napětí po tomto procesu. Mokré pískování by mohlo snižovat tlaková napětí působící v povlaku, které přispívají k zastavení růstu trhlin. Měření změn zbytkových napětí po mokrému pískování, popřípadě testování dalších vlastností integrity by pomohlo zjistit, jaký parametr integrity povrchu zapříčiňuje větší vyštípnutí materiálu na břitech upravovaných tímto způsobem. Také u vlečného omílání by bylo vhodné zkoumat jeho působení na parametry integrity povrchu. Je jisté, že minimálně z hlediska tepelného zatěžování působí lépe na plošnou drsnost než povrchová úprava mokrého tryskání a lze přepokládat pozitivní vliv vlečného omílání i na další parametry integrity povrchu. Záleží ovšem na propojení všech vlastností integrity povrchu povlaku. Co nejnižší stupeň drsnosti povrchu se může zdát bez závislosti na ostatních parametrech integrity velmi pozitivní v důsledku produkce nižšího tření při řezném procesu. Nižší hodnoty parametrů drsnosti, ale mohou například zhoršovat mechanické zakotvení povlaku v nerovnostech povrchu bříty. V tom důsledku je možné, že vlečné omílání nezapůsobilo z hlediska plošné drsnosti povrchu bříty na jeho trvanlivost nějak výhodně. Tudíž by se dalo uvažovat i o velmi pozitivním působení zde netestovaných vlastností integrity povrchu na vyšší trvanlivost bříty, které mohly ve svém propojení zapříčinit menší destrukci vlečně omílaných břitů.

Jelikož odstranění makročastic povrchových úprav obou povlaků neúčinkovalo na delší trvanlivost nějak významně, tak je možné, že je toto vhodné odstranění částic anulováno negativním působením obou povrchových úprav na některé vlastnosti integrity povrchu. Stejně tak mohlo u vlečného omílání odstranění těchto defektů vyloučených z PVD povlaku zapůsobit pozitivně na určité defekty a jen mokré pískování ruší určitým negativním vlivem na jiné parametry integrity toto pozitivní odstranění makročastic. U povlaku typu B jsou difference v průměrném známkování VBD s jednotlivými povrchovými úpravami a povrchem povlaku bez úprav také malé, ale vlečné omílání mělo značně pozitivní vliv oproti mokře pískovanému povrchu nebo povrchu bez úprav na trhliny s vyštípnutím. U povlaku typu B účinkovalo vlečné omílání nejlépe ve všech ohledech na vybrané parametry integrity povrchu a na trvanlivost VBD. Lze doporučit stejně jako u povlaku A potvrzení tohoto výzkumu testováním s větším množstvím vzorků. To by potvrdilo, že se nejednalo o nějaký jiný náhodný vliv působící na řezný proces. Z celkového průzkumu

lze poznamenat, že se na povrchu povlaku B vyskytuje větší množství makročástic a vzniká u něj rozsáhlejší destruktivní poškození než u povlaku typu A.

Při tvorbě bakalářské práce byly získány informace o působení povrchových úprav na integritu povrchu, které lze použít k následnému testování. Zejména problematika vlivu vlečného omílání na zde nehodnocené vlastnosti integrity povrchu nebo rozsáhlejší testování trvanlivosti by mohly být předmětem dalšího zkoumání. Vliv povrchových úprav na řezivost nástroje by bylo rovněž vhodné testovat. Propojení zde vyhodnocených vlastností integrity povrchu s dalšími vlastnostmi integrity povrchu a následné vyhodnocení jejich vzájemného působení na funkci nástroje ve svém propojení, tedy zejména vliv na řezivost a trvanlivost břitu VBD, by daly nejvhodnější informace o dané funkční ploše břitu neboli o integritě povrchu břitu, který byl vlečně omílán.

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Tomáši Zlámalovi, Ph.D. za rady ohledně bakalářské práce a panu Ing. Ondřeji Vortelovi za spolupráci a výpomoc při tvorbě bakalářské práce.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BRYCHTA, J., ČEP, R., PETRŮ, J., PETŘKOVSKÁ L. *Technologie II 1. díl* [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2018-03-26]. ISBN 978-80-248-1641-8. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf
2. *Geometrie břitu obecně* [online]. 2011 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: www.tumlikovo.cz/geometrie-britu-obecne/
3. KREJČÍK, A. *Geometrie břitu a broušení nástrojů* [online]. 2014 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: https://mujdum.dumabyt.cz/rubriky/stavba/geometrie-britu-a-brouseni-nastroju_502.html
4. MRKVICA, I., MORAVEC V. *Úpravy břitů a povrchů řezných nástrojů* [online]. 2007 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju.html>
5. ZETEK, M., ZÍDKOVÁ H., ČESÁKOVÁ I. *VLIV TVARU ŘEZNÉ HRANY NÁSTROJE NA PRŮBĚH ŘEZNÉHO PROCESU* [online]. 2009 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/15-2009/pdf/147-150.pdf>
6. ŠÍMA, M., JANKŮ R. *Mechanická úprava monolitních nástrojů před PVD povlaky* [online]. 2007 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mechanicka-uprava-monolitnich-nastroju-pred-pvd-povlaky.html>
7. BUMBALEK, B. *INTEGRITA POVRCHU A JEJÍ VYZNAM PRO POSOUZENÍ VHODNOSTI DANE PLOCHY PRO JEJÍ FUNKCI* [online]. 2011 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/3VT/3VT_Bumbalek_Integrita%20povrchu%20a%20posouzeni%20plochy%20pro%20funkci.pdf
8. KŘÍŽ, A. *Vliv povrchu na užité vlastnosti výrobku* [online]. [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/16376/1/Kriz.pdf>
9. DAVIM, J. Paulo. *Fundamentals and Recent Advances*. 2nd Edition. Springer, 2008. ISBN 978-1848002128.
10. FILIPOVÁ, M., PODJUKOVÁ, J., SIOSTRZONEK R. *VLIV ZMĚNY DRSNOSTI POVRCHU NA PŘILNAVOST ORGANICKÝCH POVLAKŮ* [online]. 2007 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://konference.tanger.cz/data/metal2007/sbornik/Lists/Papers/182.pdf>

11. DAĐOUREK, K. [online]. 2008 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/03adheze.pdf
12. Odtrhoměry [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/odtrhomery/>
13. PANJAN, P., ČEKADA M., NAVINŠEK B. *Surface and Coatings Technology: a new experimental method for studying the cracking behaviour of PVD multilayer coatings*. 2003, s. 55-62. ISSN 0257-8972.
14. BLÁHOVÁ, O. *Mechanické vlastnosti tenkých vrstev deponovaných obloukovým odpařováním* [online]. 1998 [cit. 2018-04-21]. Disertační práce.
15. FALLQVIST, M. *Tribology. Microstructural, Mechanical and Tribological Characterisation of CVD and PVD Coatings for Metal Cutting Applications* [online]. 2012, s. 15-16 [cit. 2018-02-22]. ISBN 978-91-554-8371-5. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:516909/FULLTEXT01.pdf>
16. ŠÍMA, M., JÍLEK, M., HOLUBÁŘ, P., ZINDULKA, O. *Měření vlastností povlaků na nástrojích* [online]. 2004 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-vlastnosti-povlaku-na-nastrojich.html>
17. KŘÍŽ, A., KOLAŘÍK K., JANOUŠEK, A., PALÁN, J. *Integrita povrchu ostří nástroje ze slinutého karbidu* [online]. [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/35110840-Integrita-povrchu-ostri-nastroje-ze-slinuteho-karbidu.html>
18. PVD otěruvzdorné vrstvy [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.pvd.cz/uvod1.html>
19. Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro- abrasive jet machining and brushing [online]. 2009 [cit. 2018-04-21]. ISBN 978-3-89958-712-8. Dostupné z: <http://www.upress.uni-kassel.de/katalog/abstract.php?978-3-89958-712-8>
20. In: *René Gerber AG* [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.gerber-maschinen.ch/en/Produkte/Buerstpoliermaschinen/BP-Smart-PBK>
21. MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vydání. Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2000. ISBN 8070789530.
22. Omílání [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.trowal.cz/stroje/omilani>

23. Efektivní možnosti opracování [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/procesy/>
24. Omílání jako univerzální metoda pro úpravu povrchů [online]. 2002 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/omilani-jako-univerzalni-metoda-pro-upravu-povrchu.html>
25. Spindle or Drag Finishing [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.rcmdeburring.com/equipment/spindledrag.php>
26. VLEČNÁ OMÍLACÍ ZAŘÍZENÍ [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/produkty/omilani/vlecna-omilaci-zarizeni/>
27. Obrábění za mokra [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/produkty/procesni-media/obrabeni-za-mokra/>
28. Obrábění za sucha [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/produkty/procesni-media/obrabeni-za-sucha/>
29. *Firemní katalog DormerPramet: Nástroje a destičky pro frézování* [online]. 2014 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.mav.cz/data/katalog/k_frez_pramet.pdf
30. Digital Microscope VHX-6000 Series [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: https://www.keyence.com/landing/microscope/lp_vhx-6000_1127.jsp
31. Komplexní hodnocení jakosti povrchu [online]. 2014 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/komplexni-hodnoceni-jakosti-povrchu.html>
32. Focus G5 [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: http://www.machexhibition.com/___media/libraries/pdf-library/5134B6D1-5056-B725-6B97CD2134E5E17A-document.pdf
33. MIRA3 [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.tescan.com/en-us/technology/sem/mira3>

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1.1 – NÁSTROJOVÉ ÚHLY ¹	13
OBRÁZEK 1.2 – SCHÉMA BŘITU NÁSTROJE ⁴	14
OBRÁZEK 1.3 – PROFIL DRSNOSTI ¹⁰	17
OBRÁZEK 1.4 – ŠÍŘENÍ TRHLINY ¹⁷	21
OBRÁZEK 2.1 – LEŠTĚNÍ KARTÁČOVÁNÍM ²⁰	25
OBRÁZEK 2.2 – VZOREK PŘED OMÍLÁNÍM (VLEVO) A PO OMÍLÁNÍ ²³	27
OBRÁZEK 2.3 – VLEČNÉ OMÍLÁNÍ ²⁵	28
OBRÁZEK 2.4 – ZAŘÍZENÍ PRO VLEČNÉ OMÍLÁNÍ ŘADA DF ²⁶	30
OBRÁZEK 2.5 – KERAMICKÁ OMÍLACÍ TĚLÍSKA ²⁷	31
OBRÁZEK 2.6 – PLASTOVÁ OMÍLACÍ TĚLÍSKA ²⁷	31
OBRÁZEK 2.7 – OMÍLACÍ MÉDIA PRO SUCHÝ PROCES TZ ²⁸	33
OBRÁZEK 3.1 – SCHÉMA ZKOUMANÝCH VBD ²⁹	34
OBRÁZEK 3.2 – FOTOGRAFIE VYBRANÝCH ZKOUMANÝCH VBD	35
OBRÁZEK 3.3 – SCHÉMA GEOMETRIE VBD PŘI ŘEZNÉ ZKOUŠCE ²⁹	37
OBRÁZEK 3.4 – TYP FRÉZOVACÍ HLAVY POUŽITÉ PRO ŘEZNOU ZKOUŠKU ²⁹	37
OBRÁZEK 3.5 – PRŮBĚH ŘEZNÉ ZKOUŠKY	37
OBRÁZEK 3.6 – OPTICKÝ MIKROSKOP VHX 6000 ³⁰	39
OBRÁZEK 3.7 – OSTŘÍ 1 S POVLAKEM B PO 10TI PŘEJEZDECH (VZOREK 2)	42
OBRÁZEK 3.8 – OPTICKÝ MIKROSKOP ALICONA G ³²	44
OBRÁZEK 3.9 – ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP MIRA3 ³³	47
OBRÁZEK 3.10 – VBD S POVLAKEM A BEZ ÚPRAVY	48
OBRÁZEK 3.11 – VBD S POVLAKEM A PO VLEČNÉM OMÍLÁNÍ	48

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1 – ROZMĚRY ZKOUMANÝCH VBD ²⁹	34
TABULKA 2 – PARAMETRY VLEČNÉHO OMÍLÁNÍ	36
TABULKA 3 – GEOMETRIE VBD PŘI ŘEZNÉ ZKOUŠCE ²⁹	36
TABULKA 4 – ŘEZNÉ PODMÍNKY FRÉZOVÁNÍ	38
TABULKA 5 – MÍRA OPOTŘEBENÍ U JEDNOTLIVÝCH ZNÁMEK	39
TABULKA 6 – HODNOCENÍ DEFECTŮ BŘITU	40
TABULKA 7 – NAMĚŘENÁ PLOŠNÁ DRSNOST SA	43
TABULKA 8 – PRŮMĚRNÁ PLOŠNÁ DRSNOST SA	45

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1 – PRŮMĚRNÉ POŠKOZENÍ VZORKŮ V PROCENTECH	41
GRAF 2 – PRŮMĚRNÁ PLOŠNÁ DRSNOST SA U JEDNOTLIVÝCH ÚPRAV	45

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA A – OSTŘÍ 1 S POVLAKEM A PO 10TI PŘEJEZDECH (VZOREK 1)
- PŘÍLOHA B – OSTŘÍ 2 S POVLAKEM A PO 10TI PŘEJEZDECH (VZOREK 1)
- PŘÍLOHA C – OSTŘÍ 1 S POVLAKEM A PO 10TI PŘEJEZDECH (VZOREK 2)
- PŘÍLOHA D – OSTŘÍ 2 S POVLAKEM A PO 10TI PŘEJEZDECH (VZOREK 2)
- PŘÍLOHA E – OSTŘÍ 1 S POVLAKEM A PO 14TI PŘEJEZDECH (VZOREK 1)
- PŘÍLOHA F – OSTŘÍ 2 S POVLAKEM A PO 14TI PŘEJEZDECH (VZOREK 1)
- PŘÍLOHA G – OSTŘÍ 1 S POVLAKEM A PO 14TI PŘEJEZDECH (VZOREK 2)
- PŘÍLOHA H – OSTŘÍ 2 S POVLAKEM A PO 14TI PŘEJEZDECH (VZOREK 2)
- PŘÍLOHA I – OSTŘÍ 1 S POVLAKEM B PO 10TI PŘEJEZDECH (VZOREK 1)
- PŘÍLOHA J – OSTŘÍ 2 S POVLAKEM B PO 10TI PŘEJEZDECH (VZOREK 1)
- PŘÍLOHA K – OSTŘÍ 2 S POVLAKEM B PO 10TI PŘEJEZDECH (VZOREK 2)
- PŘÍLOHA L – OSTŘÍ 1 S POVLAKEM B PO 14TI PŘEJEZDECH (VZOREK 1)
- PŘÍLOHA M – OSTŘÍ 2 S POVLAKEM B PO 14TI PŘEJEZDECH (VZOREK 1)
- PŘÍLOHA N – OSTŘÍ 1 S POVLAKEM B PO 14TI PŘEJEZDECH (VZOREK 2)
- PŘÍLOHA O – OSTŘÍ 2 S POVLAKEM B PO 14TI PŘEJEZDECH (VZOREK 2)
- PŘÍLOHA P – VBD S POVLAKEM A PO MOKRÉM PÍSKOVÁNÍ
- PŘÍLOHA Q – VBD S POVLAKEM B BEZ ÚPRAVY
- PŘÍLOHA R – VBD S POVLAKEM B PO MOKRÉM PÍSKOVÁNÍ
- PŘÍLOHA S – VBD S POVLAKEM B PO VLEČNÉM OMÍLÁNÍ